



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GENÉTICA

EFFECTO DEL AMBIENTE DE CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE JITOMATE SOBRE EL NÚMERO DE FLORES Y PRODUCCIÓN DE FRUTO

EFRAÍN CONTRERAS MAGAÑA

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2007

La presente tesis titulada: **Efecto del ambiente de crecimiento de plántulas de jitomate sobre el número de flores y producción**; realizada por el alumno: **Efraín Contreras Magaña**, bajo la dirección del consejo particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**DOCTOR EN CIENCIAS
GENÉTICA**

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO

(CODIRECTOR DE TESIS)

DR. JOAQUÍN ORTÍZ CERECERES

ASESOR

(CODIRECTOR DE TESIS)

DR. FELIPE SÁNCHEZ DEL CASTILLO

ASESORA

DRA. MA. DEL CARMEN MENDOZA CASTILLO

ASESOR

DR. VÍCTOR A. GONZÁLEZ HERNÁNDEZ

ASESOR

MA. TERESA BERYL COLINAS LEÓN

Montecillo, Texcoco, México, 20 de agosto de 2007

EFFECTO DEL AMBIENTE DE CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE JITOMATE SOBRE EL NÚMERO DE FLORES Y PRODUCCIÓN DE FRUTO

Efraín Contreras Magaña, Dr.
Colegio de Postgraduados, 2007

El presente estudio se realizó con el objetivo de evaluar el efecto de diferentes ambientes de crecimiento de plántulas en semillero sobre la floración, desarrollo, vigor y producción de plantas de jitomate cultivadas en condiciones de hidroponía e invernadero. En un primer ensayo se evaluaron 37 variedades para seleccionar una con alto número de flores por racimo y con características morfológicas aptas para el cultivo intensivo. Con base en los resultados se escogió a Charleston. Con plántulas de esta variedad se efectuó un estudio morfológico para determinar al microscopio el momento en que inicia la primera inflorescencia en la yema terminal, lo que ocurrió a los 20 días después de la siembra. Finalmente se realizó un experimento donde se manejaron dos volúmenes de contenedor (22 y 850 ml) que dieron por resultado diferente espacio para la raíz y diferente densidad de plántulas (1111 y 90 plántulas/m², respectivamente), combinados con dos niveles de temperatura nocturna (10 y 16 °C) y tres de luz suplementaria (0, 4 y 8 horas a 175 μmol de fotones m⁻² s⁻¹) proporcionados de los 20 a los 30 días después de la siembra. El experimento se realizó con un diseño en parcelas subdivididas donde la parcela grande correspondió al volumen de contenedor, las parcelas medianas a temperatura nocturna y las subparcelas a luz suplementaria; la unidad experimental para las subparcelas fue de 8 plantas. Hasta el momento del trasplante las plántulas del contenedor de mayor volumen tuvieron un mayor crecimiento, desarrollo y vigor y más primordios de flor respecto a las que crecieron en el contenedor más pequeño, diferencias que fueron mayores a 16 °C de temperatura nocturna y con luz suplementaria. El efecto de los tratamientos perduró después del trasplante, pues las plantas que en el vivero crecieron en el contenedor de 850 ml, llegaron 11 días antes a su antesis, tuvieron nueve flores y frutos más por parcela, los frutos fueron 23 g más pesados, los rendimientos temprano (tres primeros cortes) y total fueron superiores en 3198 y 1713 g por parcela, respectivamente, respecto al testigo manejado en charolas con cavidades de 22 ml de capacidad.

Palabras clave: *Lycopersicon esculentum*, diferenciación floral, tamaño de contenedor, temperatura nocturna y luz suplementaria,

EFFECT OF TOMATO PLANTLETS GROWTH ENVIRONMENT ON FLOWER NUMBER AND FRUIT PRODUCTION

Efraín Contreras Magaña, Dr.
Colegio de Postgraduados, 2007

To evaluate the effect of different growth environments of plantlets in the nursery on flowering, development, vigour and production of tomato plants grown in soilless culture and greenhouse conditions, the present study was carried out. In the first trial 37 varieties were evaluated to select one with high number of flowers per cluster and with morphological traits suitable to intensive cultivation. Based in the results obtained Charleston was selected. With plantlets of this variety a morphological study was made to determine with the microscope, the precise moment that the first inflorescence initiate in the shoot apex, event that was evident 20 days after sowing. Finally an experiment was carried out where two container volumes (22 and 850 ml) were used, providing different space for the root and different plantlets density (1111 and 90 plantlets/m², respectively), were combined with two levels of night temperature (10 and 16 °C) and three levels of supplementary light (0, 4 and 8 hours at 175 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$) proportionate of the 20 to the 30 days after sowing. The experiment was carried out with a sub-subplot design where the plots corresponded to the container volume, sub-plots to night temperature levels and the sub-subplots to supplementary light; the experimental unit size for the sub-subplots was eight plants. Until transplant the plantlets in the larger container had higher growth and development rate, were more vigorous and had more flower buds compared with those that grew in the smallest container, differences that were more pronounced at 16 °C of night temperature and with supplementary light. The effect of the treatments lasted after transplanting, because plants that grew in the 850 ml container in the nursery, arrived 11 days before to anthesis, had nine more flowers and fruits per plot, the fruits were 23 g heavier, the early yield (first three harvests) and total yield was superior in 3198 and 1713 g per plot, respectively, compared with the control plants managed in trays with cavities of 22 ml of capacity.

Key words: *Lycopersicon esculentum*, floral initiation, size container, night temperature and supplementary light.

Dedico esta tesis a:

Mi esposa Victoria, con amor profundo, por su comprensión y apoyo incondicional ilimitado.

Mis hijos Efraim y Montserrat, con ternura y cariño, porque siempre han sido y serán mi mayor estímulo de superación.

Mi madre Ma. Trinidad, con adoración, y a la memoria de mi padre José, en honor a su recuerdo.

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero y profundo agradecimiento a las siguientes instituciones y personas:

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por haberme brindado las facilidades económicas para realizar mi programa de estudios doctorales.

Al Colegio de Posgraduados, por permitirme formarme en un programa de excelente calidad.

A la Universidad Autónoma Chapingo, por otorgarme permiso para cursar mis estudios doctorales y facilitarme espacios y recursos para la investigación.

Al maestro: Dr. Joaquín Ortiz Cereceres, ejemplo de carácter, fortaleza, disciplina y constancia; acertado estimulador como catedrático, investigador y amigo.

Al amigo: Dr. Felipe Sánchez Del Castillo, pilar en mi formación profesional, ejemplo a seguir como docente, talentoso investigador e incansable buscador de la superación en sus semejantes.

A la Dra. Ma. Del Carmen Mendoza Castillo, por su confianza, paciencia, dedicación, esfuerzo y oportuna participación para que este trabajo tuviera la presentación y calidad requeridas.

Al Dr. Víctor A. González Hernández, por su excelente contribución en mi formación doctoral tanto en el aula como en la investigación con sus aportes al documento de tesis.

A la Dra. Ma. Teresa Beryl Colinas León, porque mi formación en Fisiología Vegetal la debo a ella en gran medida.

CONTENIDO	Pág.
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
2. OBJETIVOS GENERALES	8
3. HIPÓTESIS GENERALES	9
4. REVISIÓN GENERAL DE LITERATURA	10
4.1. La floración en el jitomate	10
4.1.1. <i>Diferenciación floral</i>	10
4.1.2. <i>Iniciación y desarrollo floral en jitomate</i>	10
4.1.3. <i>Factores que afectan el número de flores</i>	14
4.1.4. <i>Periodo de diferenciación de la primera inflorescencia</i>	16
4.2. Respuesta del jitomate a diferentes factores ambientales	16
4.3. Rendimiento y calidad de frutos	21
4.4. Comportamiento de variedades	23
4.5. El concepto de agricultura protegida.....	25
5. EVALUACIÓN DE 37 GENOTIPOS DE JITOMATE EN INVERNADERO E HIDROPONIA	27
5.1. Introducción	27
5.2. Objetivo	28
5.3. Hipótesis	28
5.4. Materiales y métodos	28
5.4.1. <i>Lugar y fecha de realización</i>	28
5.4.2. <i>Material vegetal</i>	29
5.4.3. <i>Manejo del cultivo</i>	29
5.4.4. <i>Diseño experimental y diseño de tratamientos</i>	33
5.4.5. <i>Variables respuesta</i>	33
5.4.6. <i>Análisis de la información</i>	36
5.5. Resultados y discusión	36
5.6. Conclusión	41
6. ESTUDIO MORFOLÓGICO DE LA DIFERENCIACIÓN FLORAL EN JITOMATE	42
6.1. Introducción	42
6.2. Objetivo	44
6.3. Materiales y métodos	44
6.3.1. <i>Lugar y fecha de realización</i>	44
6.3.2. <i>Material vegetal</i>	44
6.3.3. <i>Germinación y cuidados de la plántula</i>	45
6.3.4. <i>Periodo de monitoreo de meristemos</i>	46
6.3.5. <i>Preparación y toma de fotografías de los meristemos</i>	46

6.4. Resultados y discusión	48
6.4.1. El meristemo en estado vegetativo	48
6.4.2. Iniciación de la diferenciación floral	50
6.4.3. Desarrollo de botones florales	54
6.4.4. Desarrollo del androceo	56
6.4.5. Desarrollo del gineceo	58
6.4.6. Conformación del racimo floral	60
6.5. Conclusiones	62
7. EFECTO DEL AMBIENTE DE CRECIMIENTO SOBRE PLÁNTULAS DE JITOMATE	63
7.1. Introducción	63
7.2. Objetivo	67
7.3. Hipótesis	68
7.4. Materiales y métodos	68
7.4.1. Lugar y fecha de realización	68
7.4.2. Material vegetal	69
7.4.3. Diseño de tratamientos	69
7.4.4. Variables de respuesta	73
7.4.5. Diseño experimental	75
7.4.6. Análisis de los datos	75
7.5. Resultados y Discusión	76
7.5.1. Comportamiento general de tratamientos	76
7.5.2. Interacción ambiente de crecimiento x temperatura	77
7.5.3. Interacción temperatura nocturna x luz suplementaria	81
7.5.4. Estado de desarrollo al trasplante	82
7.6. Conclusiones	86
8. EFECTO DEL AMBIENTE DE CRECIMIENTO APLICADO A PLÁNTULAS DE JITOMATE SOBRE SU COMPORTAMIENTO POSTERIOR AL TRANSPLANTE	87
8.1. Introducción	87
8.2. Objetivo	90
8.3. Hipótesis	91
8.4. Materiales y métodos	91
8.4.1. Lugar y fecha de realización	91
8.4.2. Material vegetal empleado	91
8.4.3. Diseño experimental	92
8.4.4. Variables respuesta	93
8.4.5. Análisis de los datos	96
8.5. Resultados y discusión	96
8.5.1. Variables reproductivas	96
8.5.2. Variables vegetativas y de biomasa	103
8.6. Conclusiones	105
9. DISCUSIÓN GENERAL	107

10 CONCLUSIONES FINALES	116
11. LITERATURA CITADA	117

LISTA DE CUADROS

Pág.

Cuadro 1.	Variedades de jitomate utilizadas en el experimento y sus principales características.....	30
Cuadro 2.	Elementos minerales, y fuentes utilizadas para la preparación de la solución nutritiva	31
Cuadro 3.	Resumen de actividades realizadas en el manejo agronómico durante el ciclo de cultivo	32
Cuadro 4	Comparación de medias en 37 variedades de jitomate para las variables consideradas en la evaluación. Chapingo, Estado de México. 2004.....	38
Cuadro 5.	Cuadrados medios y nivel de significancia en los análisis de varianza realizados en las variables medidas en las plántulas de jitomate variedad Charleston en Chapingo, Estado de México. 2004	77
Cuadro 6.	Comparación de medias para la interacción ambiente de crecimiento x temperatura nocturna en plántulas de jitomate variedad Charleston en Chapingo, Estado de México. 2004 ..	78
Cuadro 7.	Relación peso seco de la parte aérea/peso seco de la parte radical en la interacción ambiente de crecimiento x temperatura en plántulas de jitomate variedad Charleston en Chapingo, Estado de México. 2004	79
Cuadro 8.	Comparación de medias para la interacción temperatura nocturna x luz suplementaria en plántulas de jitomate variedad Charleston en Chapingo, Estado de México. 2004 ..	81
Cuadro 9.	Número de primordios de botones florales observados en las plántulas de jitomate variedad Charleston al momento del trasplante. Chapingo, Estado de México. 2004	83
Cuadro 10.	Crecimiento del tallo en plántulas de jitomate variedad Charleston al trasplante en orden descendente y de acuerdo a cada tratamiento. Chapingo, Estado de México. 2004	85
Cuadro 11.	Cuadro 11. Cuadrados medios y nivel de significancia de los análisis de varianza aplicados a las variables reproductivas en jitomate variedad Charleston en Chapingo, Estado de México. 2005	98

Cuadro 12.	Comparación de medias en caracteres reproductivos para el ambiente de crecimiento en plantas de jitomate variedad Charleston en Chapingo, Estado de México. 2005	99
Cuadro 13.	Comparación de medias en caracteres reproductivos para temperatura nocturna en plantas de jitomate variedad Charleston en Chapingo, Estado de México. 2005	100
Cuadro 14.	Comparación de medias en caracteres reproductivos para la interacción ambiente de crecimiento x temperatura nocturna en plantas de jitomate variedad Charleston en Chapingo, Estado de México. 2005	101
Cuadro 15	Comparación de medias en caracteres reproductivos para la interacción temperatura nocturna x luz suplementaria en plantas de jitomate variedad Charleston en Chapingo, Estado de México. 2005	102
Cuadro 16.	Cuadrados medios y nivel de significancia en el análisis de varianza para las variables vegetativas estudiadas en plantas de jitomate variedad Charleston en Chapingo, Estado de México. 2005.....	104
Cuadro 17.	Cuadrados medios y nivel de significancia en el análisis de varianza para las variables de biomasa estudiadas en plantas de jitomate variedad Charleston en Chapingo, Estado de México. 2005	105

LISTA DE FIGURAS		Pág.
Figura 1.	Etapa fenológica en la que ocurre desarrollo floral del primer racimo en jitomate	45
Figura 2.	Meristemo de jitomate en estado vegetativo	49
Figura 3.	Transición del meristemo de jitomate de estado vegetativo a reproductivo	51
Figura 4.	Conformación de los primeros primordios florales	53
Figura 5.	Formación del primer botón floral	55
Figura 6.	Desarrollo del androceo	57
Figura 7.	Desarrollo del gineceo	59
Figura 8.	Conformación del racimo floral	61
Figura 9.	Charola de poliestireno utilizada para la germinación de semillas	70
Figura 10.	Plántulas de jitomate en macetas de 850 cm ³ en condiciones de ser transplantadas (31 dds)	71
Figura 11.	Exposición de las plántulas a los tratamientos	72
Figura 12.	Tamaño de las plántulas al inicio de diferenciación y meristemo diferenciándose	73
Figura 13.	Crecimiento, desarrollo y aspecto del tallo de plántulas de jitomate al trasplante	84

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

El jitomate es la segunda especie de hortaliza que más se cultiva a nivel mundial, con una producción de alrededor de 86 millones de toneladas de fruto superada solamente por la papa, cuyo volumen de producción es de alrededor de 300 millones de toneladas (Nuez, 2001). Pocas hortalizas presentan una demanda tan alta como el jitomate; su importancia radica en que posee muchas cualidades para integrarse en la preparación de alimentos, ya sea cocinado o crudo, en estado fresco o deshidratado, en la elaboración de ensaladas o en forma de puré.

A nivel nacional el jitomate es la hortaliza más importante por cubrir la mayor superficie (70,000 a 80,000 ha cada año), con una producción de alrededor de 2.5 millones de toneladas en 2005; se exportan cerca de 1 millón de toneladas anuales y su consumo *per capita* es de 15 kg. Este cultivo es el mayor generador de empleos y divisas (cerca de 650 millones de dólares) y en el que se aplica la mejor tecnología de producción, incluyendo la producción orgánica tanto a campo abierto como en invernadero; además, se producen y consumen diferentes tipos de materiales genéticos: bola, “saladette”, “cherry”, uva y arriñonado (Tachibana, 1999; Schwentesius y Gómez, 2000; Castellanos, 2004).

Actualmente en México existen más de 2000 ha en invernadero dedicadas a esta especie y la superficie está creciendo a un ritmo aproximado de 25 a 30 % anual, debido a que representa una alternativa de producción más segura y rentable que la de campo abierto. No obstante, la mayor parte de los sistemas de producción y

cultivares que se emplean, aún cuando el germoplasma original fue llevado de México, han sido desarrollados en otros países como Holanda, Israel, España, Estados Unidos de Norteamérica y Canadá y, en consecuencia, responden a otras circunstancias tecnológicas, ambientales y socioeconómicas (Steta, 2004; Castellanos 2004); por estas causas, es necesario generar tecnología propia en estos tópicos.

El uso de estos sistemas de producción y cultivares se han copiado y generalizado por los agricultores mexicanos sin que necesariamente representen la mejor opción para producir el jitomate. En general, para el uso de ésta tecnología en México, los sistemas de producción consisten en la siembra de variedades indeterminadas en suelo mejorado o en sustratos hidropónicos bajo invernadero, a una densidad promedio de 2.5 plantas por m² (25,000 plantas por hectárea) y los tallos de las plantas se dejan crecer hasta 7 m de longitud, doblando linealmente sobre el piso la parte del tallo que se va cosechando pero la parte superior en producción (alrededor de 2.5 m) se mantiene en forma vertical y se tutora de la estructura del invernadero; así, se cosechan alrededor de 15 racimos por planta en un sólo ciclo de cultivo por año y el rendimiento total llega a alcanzar hasta 250 t ha⁻¹ en un año. Debido a lo largo del ciclo de cultivo, los problemas fitosanitarios son determinantes en el rendimiento final del cultivo (Wittwer y Honma, 1979; Picken, 1984; Van de Vooren *et al.*, 1986; FAO, 1990; Resh, 1992; Nuez, 2001).

Con el fin de definir un sistema de producción de jitomate más eficiente y acorde con las condiciones de México, en 1986, el Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo inició una línea de investigación titulada "Producción superintensiva de jitomate en hidroponía bajo condiciones de invernadero rústico" mediante la cual se generaría un paquete tecnológico más productivo, capaz de producir, al menos cuatro ciclos de cultivo al año en forma redituable y que fuera factible de ser aprendido y llevado a la práctica por productores del país (Hernández *et al.*, 1991).

Según investigaciones realizadas en la línea referida (Cancino *et al.*, 1990; Sánchez y Corona, 1994; Hernández González *et al.*, 1991; Sánchez y Jorge, 2003, Ponce *et al.*, 2000; López-Valencia *et al.*, 2002; Méndez 2005; Ucan *et al.*, 2005) y varias experiencias propias a escala comercial con productores, se definieron y validaron nuevos sistemas de producción o paquetes tecnológicos de producción de jitomate en hidroponía que permiten lograr altos rendimientos y calidad, con menos complicaciones de manejo que los sistemas convencionales de producción en invernadero, que resultan factibles técnicamente y redituables económicamente, tanto en pequeña como en gran escala.

En estos nuevos sistemas de producción (Ponce *et al.*, 2000; López-Valencia *et al.*, 2002; Méndez 2005; Ucan *et al.*, 2005), el cultivo se realiza de manera muy diferente al del sistema convencional en invernadero. Se basan en utilizar altas densidades (16 a 25 plantas por m²) con plantas de porte bajo, porte que puede variar desde la altura que alcanza el primer racimo floral, hasta la altura al tener tres racimos. Para

lograr tales alturas, las plantas se despuntan para eliminar el ápice terminal justo dos hojas por encima de la inflorescencia cuando ésta se establece.

La disposición o arreglo en las plantaciones también es otro factor que difiere mucho del sistema convencional, ya que en éste por lo regular se utilizan camas de cultivo espaciadas a 2 m de ancho y en la parte central de las mismas se ubican dos hileras de plantas separadas entre sí a 50 cm con una separación entre plantas de 40 cm. En cambio, en los nuevos sistemas propuestos las plantaciones se hacen en camas de 1 m de ancho, con una separación de 20 cm entre hileras y 20 cm entre plantas y se podan a 1 racimo; para dos racimos se dejan 20 cm entre hileras y 25 cm entre plantas; y para tres racimos las distancias son de 25 cm entre hileras y 25 cm entre plantas; tales separaciones generan densidades de 25, 20 y 16 plantas/m² respectivamente.

El semillero es otro aspecto en el que difieren el sistema convencional y los nuevos sistemas; en éstos últimos para la germinación, crecimiento y desarrollo de las plántulas previo al trasplante, se emplean contenedores de 1 L, con un espaciamiento suficiente para que las plántulas permanezcan 60 días en el semillero. De esta manera, el sitio donde las plantas crecerán de manera definitiva permanece libre por un periodo de tiempo más amplio, lo que permite obtener más ciclos de cultivo por año (McAvoy *et al.*, 1989; Cancino *et al.*, 1990; Sánchez y Corona, 1991; Ponce *et al.*, 2000; Ucán, 2005; Méndez y Sánchez 2005). En el sistema convencional las plántulas germinan y se desarrollan en charolas de poliestireno con

200 cavidades y con un espaciamento reducido, lo que sólo permite que éstas permanezcan en las charolas por 30 días.

En los nuevos sistemas de cultivo se cosecha en menos tiempo (70 a 90 días después del transplante) que en el sistema convencional (210 días), ya que sólo hay que esperar la maduración de pocos racimos (1 a 3) por planta y no de 15. Por ello es posible lograr cuatro ciclos de cultivo por año, en vez de uno que se obtiene con el sistema convencional. Con la alta densidad es factible producir un mayor número de racimos por m^2 por año y se mantiene un elevado rendimiento por unidad de superficie y, en consecuencia, es factible una alta rentabilidad, porque se puede triplicar o cuadruplicar la productividad anual.

Aunque estos nuevos sistemas de producción de jitomate se han mostrado experimental y comercialmente superiores al convencional, en cuanto a rendimiento por año, calidad de fruto y rentabilidad, aún son factibles de ser mejorados. Dado que están basados en la cosecha de uno, dos o tres racimos por planta, el rendimiento dependerá del número y peso de sus frutos. De ahí que resulte importante el estudio de los factores del ambiente que influyen la inducción de los primeros racimos florales con el fin de lograr incrementar el número de flores y frutos, ya que el rendimiento final dependerá de pocos racimos por planta, de modo que una mayor cantidad de flores en las primeras inflorescencias potencia el incremento en rendimiento y productividad por año, situación que beneficiaría en mucho a los

productores que cultivan esta especie bajo ambientes no restrictivos, propios de la agricultura protegida.

Numerosos reportes de investigación evidencian los beneficios que pueden lograrse con el incremento del número de flores al modificar factores ambientales que conducen a un mejor balance de carbohidratos disponibles en la planta, en el lapso de tiempo en que ocurre la diferenciación floral. Tal es el caso de la intensidad y duración de la radiación fotosintéticamente activa (Charles-Edwards *et al.*, 1986; Morgan, 1986), la temperatura tanto de la parte aérea como de la raíz (Hoek *et al.*, 1993), el espaciamiento radical y aéreo (Weston, 1988; Peterson *et al.*, 1991 a y b; Wien, 1997), y en general el manejo de las relaciones fuente-demanda.

El presente trabajo se desarrolló en tres etapas

1. En primera instancia se llevó a cabo un estudio sobre el comportamiento en crecimiento, desarrollo y producción de 37 variedades de jitomate, para identificar y seleccionar los materiales que presentaran mayor número de flores en la primera inflorescencia y que tuvieran un mejor comportamiento bajo los sistemas de despuntes y altas densidades manejados en agricultura protegida.
2. Posteriormente, mediante un estudio morfológico realizado con microscopía electrónica de barrido y con apoyo de trabajos de otros investigadores sobre el tema, se caracterizó, el desarrollo floral de la primera inflorescencia en la

especie, y el lapso de tiempo en que ocurre el fenómeno para poder influir sobre el mismo.

3. Finalmente, con tratamientos de modificación de algunos factores del ambiente como son la amplitud del espacio de crecimiento aéreo y radical de las plántulas, la temperatura nocturna y la aplicación de luz suplementaria, se estudió la influencia que tiene la modificación de estos factores sobre el comportamiento de las plántulas hasta el trasplante y durante el periodo subsecuente al mismo hasta el final del ciclo.

2. OBJETIVOS GENERALES

1. Seleccionar cultivares que además de presentar características agronómicas deseables para su cultivo en condiciones de agricultura protegida, produzcan más flores en la primera inflorescencia.
2. Identificar y caracterizar morfológica y cronológicamente el momento en el que inicia a nivel de primordio, el desarrollo de la primera inflorescencia en las plántulas de jitomate hasta expresar el número máximo de flores en ella.
3. Estudiar el efecto que tiene modificar, en estado de plántula, el ambiente de la raíz y dosel mediante la ampliación del espacio destinado a cada plántula, la variación de la temperatura nocturna y la aplicación de luz suplementaria, sobre el número de flores en la primera inflorescencia y el comportamiento agronómico en una variedad de jitomate seleccionada en la primera etapa.

3. HIPÓTESIS GENERALES

1. Dentro de la variación genética de procedencia comercial que hay entre cultivares de jitomate, hay variedades que tienen la tendencia genética a producir más flores en la primera inflorescencia y que además expresan características agronómicas deseables para cultivarse en condiciones de ambiente no restrictivo.
2. El desarrollo floral del primer racimo de jitomate se induce cronológicamente en un momento que puede determinarse por una serie de cambios morfológicos del meristemo y finaliza con la formación completa de todos los botones florales.
3. La aplicación de tratamientos basados en combinaciones de espacio radical y aéreo con variaciones de temperatura nocturna y periodos de luz suplementaria, en el periodo de desarrollo de la primera inflorescencia, incrementa el número de flores que se pueden formar en el primer racimo.

4. REVISIÓN GENERAL DE LITERATURA

La planta de jitomate es una de las hortalizas más estudiadas, en cada área del conocimiento en la que se incursiona hay un gran número de investigaciones, por lo que sólo se hará referencia a los trabajos más sobresalientes y relacionados estrechamente con el tema de estudio.

4.1. La floración en jitomate

4.1.1. Diferenciación floral

Durante el desarrollo, la transición de una condición vegetativa a reproductiva en las plantas está marcada por un incremento en la frecuencia de divisiones en las células del corpus del meristemo; cuando inicia el desarrollo hacia la condición reproductiva, se presenta un incremento de tamaño, esto como resultado de la división celular activa (Esau, 1980; Taiz y Zeiger, 2002), este incremento de tamaño en el caso del meristemo de jitomate resulta en un alargamiento y posteriormente un aplanado de la punta (Fleming, 2007).

4.1.2. Iniciación y desarrollo floral en jitomate

La diferenciación floral en la mayoría de las especies vegetales se da en los meristemos axilares, transformando su condición vegetativa a reproductiva, el meristemo apical generalmente se mantiene vegetativo para conservar la dominancia

apical (Esau, 1982 y Hartman y Kester, 1983); sin embargo, en algunas especies como el jitomate, la diferenciación ocurre de manera distinta, el meristemo terminal es el que cambia su condición vegetativa a reproductiva y con ello se rompe temporalmente la dominancia apical; hasta ese momento, las yemas axilares próximas se mantienen en estado vegetativo y una vez que se inicia la diferenciación floral en el meristemo terminal, la yema lateral más próxima a éste retoma el crecimiento vegetativo y se establece nuevamente la dominancia apical, luego que esta yema desarrolla tres fitómeros, para el caso de las variedades llamadas indeterminadas, su meristemo se diferencia nuevamente repitiéndose sucesivamente el fenómeno y dando origen cada vez al desarrollo de una nueva inflorescencia (Sekhar y Sawhney, 1984 y Sawney y Greyson 1972).

Atherton y Harris (1986) y Nuez (2001) mencionan que cuando las variedades de jitomate son de tipo indeterminado, la primera inflorescencia aparece entre el séptimo y el noveno fitómeros; una vez que se diferencia el primer racimo floral a partir del meristemo apical, otra nueva inflorescencia aparece cada tres fitómeros, lo anterior como consecuencia del desarrollo de la yema axilar superior y de la diferenciación de su meristemo; cuando se habla de variedades de crecimiento determinado, la primera inflorescencia se emite de la misma manera que para el caso de las indeterminadas y luego otra nueva inflorescencia aparece cada dos fitómeros, también como producto del desarrollo de la yema axilar superior y de la diferenciación de su meristemo; sólo que en este último caso el fenómeno se repite un número limitado de ocasiones (3 a 4) ya que las yemas axilares cercanas al ápice

pierden la capacidad de desarrollarse y la parte superior de la planta culmina con una inflorescencia, cesando el crecimiento.

Con las consideraciones del párrafo anterior, no se deberían de considerar los términos determinado o indeterminado al comportamiento de los diferentes genotipos, puesto que dentro de las variedades determinadas se consideran todas aquellas cuyo meristemo apical termina en una inflorescencia y en las variedades llamadas indeterminadas se creía que el referido meristemo se mantenía permanentemente vegetativo. Ahora se sabe que todos los meristemas terminales se diferencian en una inflorescencia y el meristemo axilar más próximo toma su lugar para continuar con la formación de tallo; con estas aclaraciones, botánicamente todas las variedades deberían considerarse como de hábito de crecimiento determinado (Sawney y Greyson, 1972; Sekhar y Sawhney, 1984 y Sánchez, 1997).

Dentro del género *Lycopersicon* existe una especie en la que la diferenciación de estado vegetativo a reproductivo ocurre en las yemas laterales; este es el caso de *Lycopersicon pennellii*, que es un tipo de jitomate silvestre originario de la zona andina; en esta especie Tabuchi *et al.* (2000) realizaron un estudio donde señalan que los órganos reproductivos se forman de manera distinta a otras especies del género *Lycopersicon*; en esta planta la diferenciación floral ocurre de manera similar a la papa y a otras especies del género *Solanum*; es decir, la diferenciación floral se da a partir de yemas axilares del tallo principal o de las ramas.

Szymkowiak y Sussex (1992), demostraron que la tercera capa de células que rodean al meristemo determinan el tamaño de final de cada flor y además tiene una fuerte influencia sobre el número de carpelos que se van a formar, esto último se da través de divisiones periclinales.

La floración del jitomate se produce en forma de racimos simples o corimbos, siendo común que en cada inflorescencia simple se desarrollen de 3 a 10 flores, aunque en ciertos cultivares, puede haber 50 o más (Vriesenga y Honma, 1974 b; Rodríguez *et al.*, 1984; Maroto, 1986).

Vriesenga y Honma (1974 a) reportan que la inflorescencia de jitomate es un órgano que puede variar en cuanto al número de flores y al grado y forma de ramificación, mencionan que las inflorescencias simples (con un solo eje de crecimiento), se encuentran en un muchos genotipos y el número de flores que se establece puede variar de acuerdo a la longitud del racimo y que en el grado de ramificación (crecimiento en dos o más ejes) se expresa dependiendo del genotipo y del ambiente. Señalan que el tamaño de la inflorescencia determina en gran medida el número de flores y que éste carácter está determinado por un gene principal y un sistema de poligenes; mencionan además, que se han encontrado inflorescencias compuestas (ramificadas) hasta con 300 flores.

Adams (1982) menciona que el tamaño del meristemo apical, al momento de la diferenciación, está altamente correlacionado con la productividad de la planta, pues determina en gran medida el número de flores que se forman por racimo y subraya

que el tamaño del meristemo, es resultado de la dinámica del proceso de división y de expansión celular que tiene lugar en esa interfase y que esto, a su vez, depende de la tasa de fotosíntesis y de la distribución de asimilados.

4.1.3. Factores que afectan el número de flores

El número de flores desarrolladas en la primera inflorescencia puede variar ampliamente, según el genotipo, pero también puede ser afectado por el ambiente de la parte aérea.

Atherton y Harris (1986), Calvert (1964) y Cooper y Hurd (1968), plantean que el estado de desarrollo en que puede ser afectado el número de flores en cada racimo por el ambiente (periodo sensitivo), inicia unos 8 días después de la expansión de los cotiledones de la plántula y continúa por una o dos semanas más; el número de flores desarrolladas en la segunda inflorescencia o posteriores, puede ser modificado por el estatus ambiental que prevalezca en el lapso en que se da la diferenciación de cada inflorescencia. Aung (1978) también reporta que el periodo de diferenciación floral de la primera inflorescencia se presenta entre 8 y 21 días después de la expansión de los cotiledones. Adams *et al.* (1973), Wittwer y Teubner (1956), Cooper y Hurd (1968) y Menary y Van Staden (1976), establecen que el comportamiento en la floración del cultivo depende en gran medida del balance nutrimental de la planta en el momento de la diferenciación floral y mencionan que se ve severamente mermado al exponerlo a deficiencias nutrimentales.

Charles-Edwards *et al.* (1986), plantean que cada flor o fruto requiere de una tasa mínima de abastecimiento de asimilados durante sus etapas iniciales de desarrollo para no abortar y crecer sin restricciones. Expresan que, en muchas especies vegetales, se inician más meristemas florales que los que realmente se desarrollan hasta formar completamente una flor, ya que se requiere un flujo mínimo de asimilados para que estos órganos florales lleguen al desarrollo total; un flujo por debajo de ese mínimo provoca que algunos primordios de flor aborten. Basados en ejemplos tomados de varios cultivos (trigo, sorgo, arroz, soya, frijol), los autores sostienen que si el flujo mínimo de asimilados para desarrollar un primordio se mantiene constante, el aumento en la tasa de asimilación neta (TAN) diaria incrementa el número de primordios por unidad de área o por planta.

De acuerdo con los mismos autores, el número de flores o frutos que pueden desarrollarse completamente sin abortar en una planta, depende además del genotipo, de las condiciones ambientales (irradiancia, CO₂, temperatura, nutrición), de la competencia relativa entre demandas y del balance hormonal que influyen al momento de su iniciación, de la TAN y, por tanto, de la intensidad de flujo de asimilados hacia ellos.

Öz elik (1999) plantea que la aplicación de CO₂ a una concentración de 1000 ppm en un intervalo de temperatura entre 10 y 30 °C durante todo el día, incrementa el número de flores y el número de frutos por racimo, la altura de la planta y por consecuencia, el rendimiento también se ve incrementado hasta en 65 %.

4.1.4. Periodo de diferenciación de la primera inflorescencia

Aung (1978) señala que hay un periodo de desarrollo de cada inflorescencia; para la primera se presenta de los 8 a los 21 días después de la expansión de los cotiledones; este autor encontró que en plantas del cultivar Potentate expuestas a 15 °C durante el día y 10 °C durante la noche a los 10 días de edad, se aumentó el número de flores en la primera, segunda y tercera inflorescencias después de mantener esa temperatura por 21, 28 y 35 días respectivamente; de esta situación dedujo que los intervalos termo sensitivos para cada una de las tres primeras inflorescencias es de una semana.

4.2. Respuesta del jitomate a diferentes factores ambientales

Dorais *et al.* (2000), realizaron un estudio en condiciones hidropónicas con el objetivo de determinar los niveles máximos en conductividad eléctrica que la planta puede soportar sin consecuencias sobre el desarrollo, determinaron que entre 2 y 5.6 mScm⁻¹ hay poco efecto sobre la acumulación de biomasa, la tasa de crecimiento del cultivo e índice de cosecha, mencionan que después de 22 semanas de haber aplicado el tratamiento 5.6 mScm⁻¹ en la conductividad eléctrica, no se tuvieron efectos significantes sobre el rendimiento, aunque hubo manifestación de pudrición apical del fruto a consecuencia de falta de calcio en el mismo. Estos autores también encontraron que al incrementar la conductividad hasta 5.6 mScm⁻¹ (nivel máximo

probado), no se detectaron efectos sobre el color y firmeza del fruto, pero sí se incrementaron los contenidos de sacarosa y ácido cítrico y que por encima de ese nivel de concentración se afectó la mayoría de los componentes de calidad, excepto compuestos volátiles y aroma. Estos mismos autores encontraron que al aumentar la concentración de sales se incrementó la absorción de magnesio, calcio y nitrógeno y se disminuyó la absorción de potasio. Concluyen que el jitomate, en estado de plántula, puede tolerar niveles de conductividad eléctrica hasta de 4.8 mScm^{-1} y en planta adulta de 5.6 mScm^{-1} ; y que en forma general se puede decir que hay un efecto benéfico sobre la calidad del fruto, sin demérito significativo en el rendimiento al aumentar la conductividad eléctrica, y que este efecto se detecta sobre todo en la mejora del sabor, olor, ácidos y azúcares.

De la misma manera incrementando la conductividad eléctrica con 0.4 % de cloruro de sodio (alrededor de 4.7 mScm^{-1}), a intervalos de siete días en la solución nutritiva, Johnson *et al.* (1999) obtuvieron resultados que indican que en estado de plántula no hubo diferencias significativas a ese nivel de conductividad en las tasas relativa de crecimiento y de asimilación neta con respecto al testigo.

En el mismo sentido Short *et al.* (1999), estudiaron algunos factores que influyen en el comportamiento del cultivo, tales como: la concentración de nitrógeno en la solución nutritiva, la conductividad eléctrica, la temperatura de la raíz, la temperatura del aire y la humedad relativa del invernadero, encontraron que el límite superior de temperatura radical está entre 22.2 y 24.8 °C; y que en estado de plántula en días soleados su mejor desarrollo se logró en un intervalo de temperatura del aire entre

24 y 26.7 °C con una conductividad eléctrica entre 2.3 y 2.8 mS cm⁻¹, mientras que en días nublados ese intervalo térmico osciló entre 22 y 24 °C con 3.1 a 4 mS cm⁻¹ de conductividad eléctrica; por otra parte, la mejor respuesta en el desarrollo de las plántulas con respecto a la humedad relativa se logró con valores entre 70 a 75 %.

Adams *et al.* (2001) estudiaron en el cultivar Liberto (tipo cherry) el efecto de diferentes regímenes de temperatura sobre el crecimiento, desarrollo del cultivo y la respuesta de los frutos. En un primer experimento estudiaron diferentes niveles de temperatura diaria promedio (14, 18, 22 y 26 °C); encontraron que a 26 °C de temperatura diaria promedio se presentaron manifestaciones adversas, tales como racimos anormales con un número bajo de botones florales y abscisión de flores; en temperaturas de 18 y 22 °C fue donde se tuvo el mejor crecimiento y desarrollo, lo que se manifestó en un dosel foliar muy uniforme, con fructificación normal; a 14 °C el crecimiento se redujo y en los racimos se presentaron muchas flores con problemas de abscisión y los frutos que llegaron a establecerse no tuvieron semilla, fueron pequeños, duros y no alcanzaron el tamaño comercial a la maduración.

En un segundo experimento, estos autores estudiaron el efecto de la temperatura sobre el periodo de crecimiento, desarrollo y maduración del racimo, se establecieron niveles de 15, 20 y 25 °C y se cuantificaron los días que tardó el racimo en llegar a la madurez comercial; encontraron que a los 15 °C tardó 97 días, a 20 °C tardó 56 días y a 25 °C tardó 42 días; también se determinó que a 15 °C el tiempo que demoró en madurar el fruto proximal con respecto al distal en el racimo, fue de 11.2 días. De manera general se observó que a medida que aumentó la temperatura, el periodo a

la maduración de frutos se acortó; consideran que el inicio de maduración en el cultivar Liberto tiene lugar a los 812 días grado, tomando como temperatura base 5.7 °C, aunque no especifican el método de cálculo.

En un tercer experimento, estos mismos autores estudiaron el efecto de la temperatura incidiendo desde etapas previas a la antesis hasta la maduración del fruto, aplicaron una temperatura de 25 °C durante los 8 días previos a la antesis (flores en estado de botón) y por 3, 4, 5 y 6 semanas después de ésta; desde la séptima semana posterior a la antesis hasta la madurez del fruto; de 18 °C desde 12 días previos a la antesis hasta la madurez del fruto y desde 8 días previos a la antesis hasta la madurez de fruto. Los resultados que obtuvieron muestran que con 25 °C de temperatura desde los 8 días previos a la antesis hasta la madurez, se obtuvieron frutos de 42.5 g; con 25 °C por tres semanas después de la antesis se obtuvieron frutos de 44.5 g; con 18 °C desde 12 días previos a la antesis hasta madurez se lograron frutos de 71.8 g; los tratamientos con 25 °C previos a antesis produjeron frutos de 72.7 g en promedio; con 25 °C por tres semanas después de la antesis se lograron frutos de 65.4 g y con 25 °C después de 7 semanas de antesis se obtuvo el máximo peso de fruto de 74.3 g. Lo anterior indica, de manera general, que la temperatura de 25 °C cuando hay tasas altas de crecimiento del fruto, favorece el incremento del tamaño del mismo y que ese mismo efecto también se logra con temperatura de 18 °C, pero aplicada desde antes de la antesis hasta el final de la maduración, sin que haya variaciones en el periodo intermedio.

Aunque no especifican el nivel de radiación que aplicaron, Newton *et al.* (1999), encontraron que en las variedades Dombito y Solairo, el rendimiento y la radiación solar tuvieron una relación lineal y en la variedad Dombito llegaron a obtener racimos de hasta de 689 g de peso; en la misma variedad, probando un intervalo de temperatura entre 12 y 26 °C durante el periodo de crecimiento del racimo; encontraron que los incrementos en rendimiento no fueron lineales, y que en los extremos térmicos se produjeron racimos con peso bajo: menores a 200 g en 12 °C de temperatura y 400 g en 26 °C de temperatura; en la variedad Solairo el comportamiento fue similar, ya que el rendimiento aumentó linealmente con el incremento de la radiación solar registrada en el interior del invernadero, aunque el peso de los racimos producidos fue menor, pues el máximo peso alcanzado fue de 554 g por racimo.

De Koning (1989), empleó el cultivar Calypso para estudiar las tasas de crecimiento y desarrollo, la productividad y la eficiencia de la radiación; estableció una densidad de 2.27 plantas/m² en condiciones controladas, de temperatura, radiación, CO₂ y humedad relativa; con ello obtuvo una tasa media de 0.92 racimos/semana, una tasa media de cosecha de 0.96 racimos semanales, un rendimiento de 24.5 kg/planta y se cosecharon 280 frutos/planta, la eficiencia en el uso de la radiación fue de 41.5 g de peso fresco por MJ de radiación fotosintéticamente activa, la tasa de crecimiento mensual más alta se logró en verano y fue de 4.3 kg/planta, el incremento en peso fresco por planta varió de 50 a 160 g diarios y presentó una correlación alta con el rendimiento de fruto. Este autor establece que el incremento en 1 % de la radiación, provocó 1 % de incremento en la acumulación de biomasa.

Gosiewski *et al.* (1982) mencionan que a baja irradiancia (27 W m^{-2} de RFA) y baja concentración de CO_2 en la atmósfera (alrededor de 180 ppm), la fotosíntesis neta en 10 genotipos varió entre 0.122 y 0.209 $\text{mg de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. También observaron una correlación entre la fotosíntesis neta, el peso específico de la hoja y la razón de área foliar; los mismos autores probaron cuatro genotipos (Bonabel, F6 I.V.T., PI 114969 y Sonatine) a altas irradiancias (243 W m^{-2}) y concentración de CO_2 en la atmósfera (1480 mg m^{-3}) y temperaturas ambientales de 10, 18, 20 y 26 °C y encontraron que F6 I.V.T. tuvo la máxima tasa de fotosíntesis ($0.130 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) a 10 °C, mientras que Sonatine fue la que mejor se comportó ($0.600 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) en la temperatura de 26 °C; la respiración oscura se incrementó con el aumento de la temperatura, excepto en el caso de Bonabel donde el efecto del incremento de la temperatura fue muy ligero.

4.3. Rendimiento y calidad de frutos

Wang *et al.* (1996) descubrieron la influencia del gene de jitomate “levadura Δ -9 desaturasa”, que provoca cambios en los niveles de ácidos grasos saturados e insaturados en los frutos, incrementa los ácidos palmítico, 9,12- hexadienóico y linoleico y al mismo tiempo reduce los ácidos esteárico y palmítico. Los cambios en el comportamiento de los ácidos grasos saturados, se asociaron con el cambio en ciertos compuestos responsables del sabor, derivados de esos mismos ácidos; los

resultados muestran que las variaciones en los niveles de ácidos grasos saturados en la planta podrían conducir a cambios en el perfil de compuestos de sabor.

De Koning (1998) estudiando la tasa de crecimiento potencial obtenida bajo condiciones limitadas de suministro de asimilados, encontró que el crecimiento más rápido de los frutos se dio cuando se realizó la eliminación del meristemo apical, ya que los asimilados que producen las hojas no tienen otro sitio de demanda; sus experimentos demostraron que los frutos crecidos sin restricción de asimilados desde la antesis, llegaron a ser más grandes que cuando en alguna etapa del crecimiento tuvieron restricciones; es decir, que regularmente el crecimiento no alcanza todo su potencial debido a la escasez de fotoasimilados en alguna etapa de su crecimiento y desarrollo.

Şen y Sevgican (1999) reportan que en el jitomate los medios de crecimiento para la raíz que tienen buena absorción y capacidad de conducción, afectan positivamente la calidad del fruto y esas dos propiedades son la base para comparar los diferentes medios en donde se desarrolla la raíz, la causa de esa afectación es que se facilita la absorción de agua y nutrientes y se mantenga la turgencia en la planta.

Sağlam y Yazgan (1999) raleando frutos en el racimo, evaluaron tratamientos de 4, 6 y 8 frutos por racimo en 30 variedades y su efecto sobre el rendimiento y la calidad (expresada en tamaño de fruto); encontraron que no hay diferencias significativas en días a madurez; que el rendimiento total por planta disminuyó significativamente al reducirse el número de frutos por racimo. El mayor rendimiento se obtuvo con el

tratamiento de 8 frutos por racimo y el menor con 4; al disminuir el número de frutos por racimo se incrementó el peso medio de fruto y la mejor calidad se obtuvo con 4 y 6 frutos por racimo, la segunda calidad con 6 y 8 frutos por racimo y en el tratamiento de 8 frutos por racimo fue donde se obtuvo la mayor cantidad de frutos no comerciales.

4.4. Comportamiento de variedades

Sağlam y Yazgan (1999) comparando variedades de jitomate adaptadas al norte de Turquía, tanto en condiciones de invernadero tipo túnel como a cielo abierto, lograron reducir en cuatro semanas la precocidad en el invernadero con respecto a cielo abierto; entre las variedades precoces destacaron: Zeinep F1, Amfora F1, FA-144, y Vivia F1; se comportaron como las más rendidoras: Vivia F1, Arletta, RS83209 F1, FA-144, Vemone F1, Lucy F1 y Zeynep F1; algunas variables como días a madurez fueron afectadas por el genotipo de las variedades y por las condiciones ecológicas de la zona donde se cultivaron; otras variables como rendimiento precoz y rendimiento total cambiaron significativamente con el cultivar.

Duyar *et al.* (1999) reportan que temperaturas abajo de 13 °C y arriba de 30 °C afectan la calidad del polen y por consiguiente, el amarre de frutos y el rendimiento; en una prueba con seis variedades encontraron como la más rendidora a Belgium F1 y con más cantidad de sólidos solubles a Elif 190 F1, Yazia F1 y Sigme F1; además, Yazia F1 sobresalió como uno de los mejores cultivares por comportarse de manera sobresaliente en diferentes evaluaciones.

Miccolis *et al.* (1998) de acuerdo con el método de análisis canónico discriminante identifican diferentes grupos de jitomate de acuerdo a su patrón de maduración de fruto; utilizaron 68 variedades y entre ellas destacaron en rendimiento: Arletta, B-375, Beldor, Fortara, Garbo, Sidonia, Twist y 398-92 con más de 50 t ha⁻¹.

En México son pocos los estudios recientes que existen referentes a pruebas de variedades; Espinosa (2001) evaluó 10 variedades, cinco del tipo bola y cinco del tipo saladette en sistemas de producción con despuntes. Las tipo bola que destacan en número de frutos y rendimiento son: Conteza, San Quintín y Humaya; solo que esos materiales a esta fecha tienen poca demanda en el mercado. También Regalado (2002) evaluó el comportamiento de 10 cultivares tipo bola manejando el cultivo con poda a tres racimos y estudió características anatómicas y morfológicas de la planta; entre los 10 que tuvieron menor altura, tallo grueso, mayor cantidad de hojas, pedúnculos gruesos y mayor número de óvulos, destacaron los cultivares Solarset y Big Beef; estos caracteres correlacionaron positivamente con el rendimiento; en el mismo estudio se encontró que caracteres como el área transversal del pedúnculo y área total de parénquima en el pedúnculo, correlacionaron positivamente con el rendimiento del primer racimo, dando por resultado mayor rendimiento. En otro estudio Martínez (2004) realizó una evaluación de la heterosis intervarietal y uso de generaciones F₂ en varios híbridos de jitomate y en los tipo bola encontró que “Equinox” y “Home sweet” mostraron efecto significativo en la producción de frutos por planta entre los híbridos F₁ y sus generaciones F₂.

Sin embargo, el jitomate es una especie en la que las variedades tanto para campo abierto como para invernadero que se van generando, tienen pocos años de vigencia debido a que se son susceptibles a las nuevas razas de patógenos y a que el mercado cada vez es más exigente en cuanto a características de calidad como son: forma, color, sabor, vida de anaquel, tamaño, firmeza, etc. Por estas razones hay que hacer evaluaciones continuamente de los nuevos cultivares que salen al mercado.

La otra opción con gran potencial que nadie ha querido adoptar hasta el momento, es la de trabajar en la generación de variedades acorde a las necesidades propias del país, partiendo de la diversidad genética que existe en México; aunque este puede ser un camino largo y costoso, potencialmente representa una opción con grandes posibilidades.

4.5. El concepto de agricultura protegida

La agricultura protegida es un concepto surgido recientemente y por lo mismo poco entendido entre la mayoría de los profesionales dedicados a este ramo; se entiende por agricultura protegida a aquellas técnicas que ayudan al control de variables climáticas tanto en el vástago como en la raíz de la planta, también se consideran a las que regulan el aporte de nutrimentos requeridos por la planta; entre éstas variables se consideran: la temperatura, la humedad del aire y del suelo, la radiación, el viento, la aireación del suelo, la concentración ambiental de CO₂ y la aplicación de fertilizantes solubles a través del sistema de riego; las técnicas que se utilizan para el

control o regulación de todas estas variables son el uso de invernaderos, hidroponía, túneles, acolchamiento del suelo, casas sombra, cubiertas flotantes y riego localizado (INIFAP, 2003).

5. EVALUACIÓN DE 37 GENOTIPOS DE JITOMATE EN INVERNADERO E HIDROPONÍA

5.1. Introducción

El presente estudio forma parte de un proyecto enfocado a la identificación de variedades de jitomate tipo bola con el mayor número de flores en los primeros racimos que los que se cultivan actualmente y con alta productividad, dentro del concepto de arquetipo de planta adecuado para cultivarse en ambientes no restrictivos, como es el que se tiene en condiciones de invernadero y sistema hidropónico (Sánchez, 1997).

En esta fase, se pretende detectar las variedades que presenten las siguientes características: tallo grueso, porte bajo, aptos para su cultivo en altas densidades, mayor número de flores en la primera inflorescencia, frutos de tamaño grande y alto rendimiento.

Para ello se probaron 37 variedades tipo bola, entre ellas se establecieron algunas comerciales, cultivadas desde hace varios años en campo abierto, híbridos de alto rendimiento en invernadero con resistencia a patógenos como *Fusarium* y algunas de sus razas, así como algunos materiales experimentales de diferentes casas comerciales que se manejan con claves por no estar todavía liberados para producción comercial (Cuadro 1). Varios de estos materiales han sido cultivados por el autor a nivel comercial o se ha observado su comportamiento a la misma escala

cuando se han establecido por empresas dedicadas a la producción de esta especie de hortaliza.

5.2. Objetivo

Evaluar 37 variedades e identificar las que presenten mayor cantidad de flores en la primera inflorescencia y características sobresalientes para ser cultivados bajo los sistemas de despunte y altas densidades de población en agricultura protegida.

5.3. Hipótesis

Dentro de las 37 variedades de jitomate tipo bola, existe variabilidad genética para características como número de flores en la primera inflorescencia, frutos por racimo, tamaño de fruto, vigor de planta, resistencia a enfermedades, porte bajo, tallo grueso, periodo reducido de cosecha y con alto rendimiento precoz (primeros tres cortes) y total; deseables para sistemas de producción intensivos en ambientes no restrictivos.

5.4. Materiales y métodos

5.4.1. Lugar y fecha de realización

El presente trabajo se condujo del 3 de septiembre de 2003 al 26 de febrero de 2004 en el Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicado a una altitud de 2241 m, en un invernadero tipo “quonset” con cubierta de polietileno,

ventanas laterales provistas de malla antiáfidos, sistema de calefacción automatizado tipo “centinela”, tinas de concreto hidropónicas con arena de tezontle rojo como sustrato, y con un sistema de riego por goteo.

5.4.2. Material vegetal

Las características de las 37 variedades de jitomate tipo bola se describen en el Cuadro 1, la información se obtuvo de los catálogos de las empresas que las comercializan, etiquetas de los envases en que se venden, publicidad en internet o mediante la observación directa en las plantas.

5.4.3. Manejo del cultivo

El manejo del cultivo consistió de la siembra de semillas en charolas de 200 cavidades, con una semilla por cavidad, esta actividad se llevó a cabo el día 3 de septiembre de 2003, el transplante se realizó con cepellón 22 días después de la siembra (dds) a tinas hidropónicas donde se establecieron a una densidad de 25 plantas/m². Las plantas se regaron diariamente con una solución nutritiva con los nutrientes y concentraciones indicados en el Cuadro 2. Además se tutoraron con hilaza utilizando un hilo por planta, colgando los hilos de alambres sujetos a la estructura del invernadero. También se despuntaron eliminando el ápice una vez que apareció la primera inflorescencia, dejando dos hojas por encima de ésta; sólo se dejó el tallo principal, para ello se eliminaron todos los brotes laterales a medida que fueron apareciendo.

Cuadro 1. Variedades de jitomate utilizadas en el experimento y sus principales características.

Variedad	Hábito de crecimiento	Forma, tamaño del fruto y color	Resistencia a patógenos
135907	No existe información porque son variedades experimentales y las casas comerciales no la han divulgado.		
136113			
136652			
136703			
30963			
31014			
Attention	Indeterminado	Redondo mediano a grande	Virus del Mosaico del Tabaco, <i>Verticillium</i> y <i>Fusarium</i> R2
Badro	Indeterminado	Redondo de 240 g	<i>Verticillium</i> , <i>Fusarium</i> R1 y R2, Nemátodos y Virus del Mosaico del Tabaco
Better Boy	Indeterminado	Ovalado de 230 g y de color amarillo	<i>Verticillium</i> , <i>Fusarium</i> R1, Nemátodos, <i>Alternaria</i> y <i>Stemphylium</i>
Big Beef	Indeterminado	Ovalado grande	<i>Verticillium</i> , <i>Fusarium</i> , Nemátodos, <i>Alternaria</i> y <i>Stemphylium</i> y no es susceptible a rajaduras
Bond	Sin información	Redondo, ligero acostillamiento y grande	Virus del Mosaico del Tabaco, <i>Verticillium</i> , <i>Fusarium</i> R1 y R2, Nemátodos y Virus del Bronceado del Tomate
Caimán	Indeterminado	Redondo y extra grande	Virus de la marchitez manchada del tomate, <i>Cladosporium</i> , <i>Verticillium</i> , y <i>Fusarium</i> R2
Carnival	Sin información	Ovalado globoso de 225 g	<i>Verticillium</i> , <i>Fusarium</i> R1 y R2, Nemátodos, Mancha gris de la hoja, <i>Alternaria</i> y Cáncer del Tallo
Charleston	Indeterminado	Redondo liso de 210 a 220 g	<i>Verticillium</i> , <i>Fusarium</i> R1 y R2, y Virus del Mosaico del Tabaco
EF 110	Determinado	Redondo de mediano a grande	<i>Verticillium</i> , <i>Fusarium</i> R1 y R2, <i>Stemphylium</i> y TMV
EF 163	Determinado	Redondo extra grande	<i>Verticillium</i> , <i>Fusarium</i> R1 y R2, <i>Stemphylium</i> y TMV
Floradade	Determinado	Globo de 140 a 200 g	<i>Verticillium</i> , <i>Fusarium</i> y <i>Alternaria</i>
Gabriela	Indeterminado	Achatado y mediano	Nemátodos, <i>Fusarium</i> R1 y R2, <i>Verticillium</i> y Virus del Mosaico del Tabaco
Gironda	Indeterminado	Redondo de 200 g	Virus del Mosaico del Tabaco y <i>Fusarium</i> R2
Halley	Determinado	Redondo mediano a grande	<i>Verticillium</i> , <i>Fusarium</i> R1 y R2
Hayslip	Determinado	Redondo de mediano a grande	<i>Verticillium</i> , <i>Fusarium</i> R1 y R2 y Mancha gris de la hoja
Imperial	Sin información	Redondo mediano a grande	TSWV, <i>Cladosporium</i> , <i>Verticillium</i> , y <i>Fusarium</i> R2, <i>Verticillium</i> y Nemátodos
Jubille	Sin información	Redondo, mediano y de color naranja	<i>Verticillium</i> , <i>Fusarium</i> y Nemátodos
Kastalia	Indeterminado	Redondo de 230 g	Virus del mosaico del tabaco, <i>Verticillium</i> , <i>Fusarium</i> R1 y R2, y Nemátodos
Lemon Boy	Indeterminado	Redondo perfecto de 170 g	<i>Verticillium</i> , <i>Fusarium</i> , Nemátodos, <i>Alternaria</i> y <i>Stemphylium</i>
Lorena	Sin información	Redondo y mediano	Virus del Mosaico del Tabaco, <i>Verticillium</i> , <i>Fusarium</i> , Nemátodos y <i>Pseudomonas</i>
Lucky Lady	Sin información	Redondo y grande	Virus del Mosaico del Tomate, <i>Cladosporium</i> , <i>Verticillium</i> , <i>Fusarium</i> R2 y Nemátodos
Miramar	Indeterminada	Oblongo de 150 a 180 g	<i>Alternaria</i> , <i>Fusarium</i> y Virus del Mosaico del Tabaco
Monte Verde	Determinado	Oblongo o redondo aplanado y grande	<i>Verticillium</i> y <i>Fusarium</i> R1y R2
Nema 1400	Sin información	Redondo cuadrado de 100 g	<i>Verticillium</i> , <i>Fusarium</i> R1 y R2, y Mancha gris de la hoja
Pike Ripe 461	Determinado	Redondo de 150 a 200 g	<i>Verticillium</i> , <i>Fusarium</i> R1 y R2, <i>Alternaria</i> , <i>Stemphylium</i> , Virus del mosaico del tomate y Virus del rizado amarillo del tomate
Pike Ripe 747	Determinado	Redondo de 150 a 200 g	Resistente a <i>Verticillium</i> , <i>Fusarium</i> R1 y R2, <i>Alternaria</i> y <i>Stemphylium</i>
PS 15105	Indeterminado	Redondo y grande	<i>Verticillium</i> , <i>Fusarium</i> R1 y R2 y Virus del rizado amarillo del tomate
Sedona	Indeterminado	Redondo aplanado grande	Sin información
Sun Master	Sin información	Redondo mediano	<i>Verticillium</i> , <i>Fusarium</i> , Nemátodos y <i>Alternaria</i>
Terrific VFN	Indeterminado	Redondo de 140 g	<i>Verticillium</i> , <i>Fusarium</i> R1 y R2, Mancha gris de la hoja, <i>Alternaria</i> y Cáncer del Tallo
Tropic	Indeterminado	Ligeramente achatado de 250 g	<i>Verticillium</i> , <i>Fusarium</i> R1 y <i>Stemphylium</i>

Mediano, entre 4 y 6 cm de diámetro ecuatorial; Grande, entre 6 y 8 cm de diámetro ecuatorial; Extra grande, mayor de 8 cm de diámetro ecuatorial.

Cuadro 2. Elementos minerales, concentración y fuentes utilizadas para la preparación de la solución nutritiva.

Nutrimiento	Concentración (mg L ⁻¹)	Fuente fertilizante
Nitrógeno	200	Ca(NO ₃) ₂ y (NH ₄) ₂ SO ₄ (nitrato de calcio y sulfato de amonio)
Fósforo	60	H ₃ PO ₄ (ácido fosfórico)
Potasio	200	K ₂ SO ₄ (sulfato de potasio)
Calcio	250	Ca(NO ₃) ₂ (nitrato de calcio, el mismo usado para N)
Azufre	150	Todos los sulfatos considerados en la fórmula
Magnesio	70	MgSO ₄ .7H ₂ O (sulfato de magnesio sal de epton)
Fierro	3	FeSO ₄ .7H ₂ O (sulfato ferroso)
Manganeso	0.5	MgSO ₄ .4H ₂ O (sulfato de manganeso)
Boro	0.5	Na ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O (tetraborato de sodio o borax)
Cobre	0.1	CuSO ₄ .5H ₂ O (sulfato cúprico)
Zinc	0.1	ZnSO ₄ .7H ₂ O (sulfato de zinc)

No se suministró molibdeno ni cloro, porque estos elementos se requieren en muy baja concentración y se consideró que están disponibles en cantidad suficiente como impurezas de los fertilizantes usados o en la composición del agua de riego.

Se presentaron algunos problemas fitosanitarios, entre los que destacan la incidencia de mosquita blanca (*Trialeurodes vaporariorum*), minador de la hoja (*Liryomisa munda*) y tizón tardío (*Phytophthora infestans*), los cuales se controlaron mediante la aplicación de deltametrina, pymetrozine, imidacloprid, Plenum[®], clorotalonil y oxiclورو de cobre (Consultar cuadro 3).

La cosecha se hizo del 7 de enero al 16 de febrero de 2004 mediante 6 cortes de frutos (uno cada semana), cuando alcanzaron la madurez fisiológica, considerada a partir del inicio de la coloración roja.

Cuadro 3. Resumen de actividades realizadas en el manejo agronómico durante el ciclo de cultivo.

Actividad	Fecha	dds
Siembra.	3 de Sep. 2003	0
Emergencia.	8	5
Transplante.	25	22
Colocación del sistema de riego por goteo e inicio de aplicación de la solución nutritiva.	26	23
Aspersión foliar con una mezcla de los siguientes productos: Plenum® 50 GS (ia: pymetrozine) a razón de 1 g L ⁻¹ para prevención de mosquita blanca y Bayfolán® Forte (fertilizante foliar) a una dosis de 3 mL L ⁻¹ .	26	23
Aspersión foliar de los siguientes productos: Plenum® 50 GS y Bayfolán® Forte a las mismas dosis y con los mismos fines; además de Contracal® a razón de 10 mL L ⁻¹ producto orgánico elaborado a base de extracto de 10 plantas con propiedades insecticidas, este último con fines preventivos.	30	27
Aspersión foliar de una mezcla de los siguientes productos: Plenum® a una dosis de 0.75 g L ⁻¹ Lannate® (ia: metomilo) a una dosis de 1 g L ⁻¹ Confidor® (imidacloprid) a una dosis de 1 mL L ⁻¹ y Bayfolán® Forte a una dosis de 3 mL L ⁻¹ ; los insecticidas se aplicaron para controlar mosquita blanca y el foliar para reforzar nutrición.	2 de Oct.	29
Aplicación foliar de una mezcla de: Confidor® a una dosis de 0.75 g L ⁻¹ , Lannate® a una dosis de 1 g L ⁻¹ y Bayfolán® Forte a dosis de 3 mL L ⁻¹ .	23	50
Tutorado con hilaza (un hilo por planta).	24	51
Aplicación de los siguientes agroquímicos para el control de mosquita blanca y minador de la hoja: Lannate® a una dosis de 1 g L ⁻¹ y Confidor® a una dosis de 1 g L ⁻¹ .	28	55
Eliminación de brotes laterales y terminal.	3 al 5 de Nov.	61 a 63
Aplicación de agroquímicos para prevención de fungosis y control de mosquita blanca: Daconil® PH (ia: clorotalonil) a una dosis de 0.75 g L ⁻¹ y Plenum® a razón de 0.75 g L ⁻¹ .	6	64
Registro de las variables: Altura de planta, Número de nudos y Días a antesis.	7	65
Eliminación de rebrotes ("chupones").	8 a 12	66 a 70
Aspersión de agroquímicos con la finalidad de prevenir enfermedades fungosas, control de mosquita blanca y reforzar fertilización: Plenum® a una dosis de 1 g L ⁻¹ , Daconil® a razón de 0.75 g L ⁻¹ y Bayfolán® Forte a razón de 6 mL L ⁻¹ .	13	71
Eliminación de rebrotes ("chupones") y tutorado (conducción vertical de la planta en espiral sobre el hilo).	24	81
Aplicación de agroquímicos para control de mosquita blanca, prevención de tizón tardío y refuerzo de la fertilización: Plenum® en una dosis de 1 g L ⁻¹ , Cupravit Mix® (ia: oxiclورو de cobre), a razón de 1 g L ⁻¹ y Bayfolán® Forte a una dosis de 6 mL L ⁻¹ .	24	82
Eliminación de rebrotes ("chupones") y tutorado (conducción vertical de la planta en espiral sobre el hilo).	1º. de Dic.	89
Eliminación de rebrotes ("chupones").	8	96
Registro de datos de las variables: Grosor de tallo medio y superior.	10	98
Registro de la variable Número de flores.	18	106
Aspersión de productos para controlar mosquita blanca, tizón tardío y reforzar fertilización: Decis® (ia: deltametrina) a una dosis de 1.5 mL L ⁻¹ , Cupravit® Mix, en dosis de 1 g L ⁻¹ y Bayfolán® Forte a una dosis de 4 mL L ⁻¹ .	19	107
Registro de la variable Resistencia a enfermedades.	19	107
Inicio de cosecha (primer corte).	7 de Ene. 2004	126
Segundo corte.	16	135
Tercer corte.	23	142
Cuarto corte.	2 de Feb.	152
Quinto corte.	2	166
Sexto corte (fin de la cosecha).	26	176
Obtención de muestras para el registro de la variable Peso seco de tallos.	29.	179

5.4.4. Diseño experimental y diseño de tratamientos

Cada genotipo representó un tratamiento (37 en total) y se ubicaron en un diseño experimental en bloques completos al azar con cuatro repeticiones, la unidad experimental estuvo constituida por 10 plantas y la unidad de muestreo fueron las mismas 10 plantas para algunos casos, o de cinco para otros, según la variable considerada.

5.4.5. Variables respuesta

Altura de planta (en cm). Tomada con cinta métrica, desde los cotiledones hasta la inserción del racimo; se cuantificó en las 10 plantas de la unidad experimental para calcular el promedio.

Número de nudos. Se contó desde el nudo de los cotiledones hasta el previo a donde se inserta la primera inflorescencia, en las mismas 10 plantas para obtener el promedio.

Diámetro de tallo 1 (en mm). Se midió con vernier a la altura del quinto entrenudo, contando a partir de la inflorescencia hacia abajo; se llevó a cabo en cinco plantas para obtener el promedio.

Diámetro de tallo 2 (en mm). Se midió con vernier, justo debajo de la inserción de la inflorescencia, en cinco plantas para obtener el promedio.

Número de flores. Se contó en las 10 plantas de la unidad experimental para obtener el promedio.

Días a antesis. Corresponde a los días transcurridos desde la siembra hasta que cinco plantas de la unidad experimental llegaron a la antesis de la primera flor.

Peso seco de tallo (en g). Se midió al término de la cosecha en cinco plantas de cada unidad experimental en muestras cortadas desde el punto de cotiledones hacia arriba, previa eliminación de hojas e inflorescencia; posteriormente se seco en una estufa a 80 °C hasta peso constante.

Resistencia a enfermedades. Se evaluó visualmente mediante una escala del 1 al 5, en el que 1 = plantas sanas, y 5 = plantas muy afectadas por las enfermedades fúngicas y virosas.

Días a inicio de maduración. Comprende a los días transcurridos desde la siembra hasta que cinco plantas de la unidad experimental tenían el primer fruto en madurez fisiológica, cuando inició la pigmentación roja.

En el periodo de cosecha se efectuaron seis cortes y en cada uno se separaron los frutos por tamaños mediante una tabla con orificios de 4, 6, 7 y 8 cm de diámetro, los frutos de cada tamaño se pesaron con una balanza electrónica, en gramos. La cuantificación se hizo por unidad experimental y se obtuvieron las siguientes variables:

Número y peso de frutos no comerciales. Frutos con diámetro ecuatorial menor a 4 cm.

Número y peso de frutos chicos. Frutos con diámetro ecuatorial de 4 a 6 cm.

Número y peso de frutos medianos. Frutos con diámetro ecuatorial de 6 a 7 cm.

Número y peso de frutos grandes. Frutos con diámetro ecuatorial entre 7 y 8 cm.

Número y peso de frutos extragrandes. Frutos con diámetro ecuatorial mayor a 8 cm.

Con los datos de las cinco variables anteriores, se calcularon las siguientes por unidad experimental:

Número total de frutos. Se obtuvo mediante la suma del número de frutos no comerciales, chicos, medianos, grandes y extragrandes.

Peso medio de fruto (en g). Por división del peso total de frutos de cada parcela entre el número de frutos que produjo.

Rendimiento temprano (en g). Es la cantidad de peso acumulado, durante los tres primeros cortes.

Rendimiento total (en g). Se obtuvo mediante la suma de los pesos de frutos no comerciales, chicos, medianos, grandes y extragrandes.

5.4.6. Análisis de la información

La captura, el análisis, y procesamiento de los datos se hizo mediante los paquetes computacionales Microsoft Excel y Statistical Analysis System (SAS); inicialmente se hizo un análisis gráfico de las variables y con ésta base posteriormente se hicieron análisis de varianza, pruebas de comparación de medias (Tukey).

5.5. Resultados y discusión

En el análisis de varianza se detectó que hubo diferencias significantes entre tratamientos en todos los caracteres evaluados; con esta información se procedió a realizar una prueba de comparación de medias Tukey ($\alpha = 0.05$) buscando detectar las variedades con comportamiento sobresaliente en cada uno de los caracteres

evaluados (Cuadro 4). La prueba de comparación de medias muestra que en las variables evaluadas también hubo diferencias significativas ($\alpha = 0.05$) entre materiales, pero solo entre valores extremos; hay muchas que se comportan de manera similar, de modo que resulta difícil seleccionar algún grupo reducido de variedades como promisorias para cultivarse en agricultura protegida, ya que estadísticamente aparecen como iguales en grupos de hasta 36 variedades; hay variables donde el grupo detectado como sobresaliente se reduce a sólo 12, y con estas consideraciones no resulta un mecanismo práctico para escoger materiales que se destaquen.

Ante esta situación, 25 de las 37 variedades estudiadas pueden ser consideradas como sobresalientes para ser cultivadas en agricultura protegida, ya que todas se destacan en la evaluación en cuanto a los caracteres contemplados en el experimento como importantes; es decir, tienen: porte bajo; pocos nudos; tallo grueso; más flores en el primer racimo; son precoces en antesis, al inicio de maduración y en rendimiento temprano; acumulan más biomasa; resisten el ataque de enfermedades; producen pocos frutos no comerciales y chicos; más cantidad de frutos grandes, extragrandes y totales y además sus frutos tienen más peso, por lo que como consecuencia, producen mayor rendimiento.

Cuadro 4. Comparación de medias en 37 variedades de jitomate para las variables consideradas en la evaluación en Chapingo, Estado de México. 2004.

Variedad	Altura de planta (cm)	No. De nudos	Diámetro de tallo 1 (cm)	Diámetro de tallo 2 (cm)	No. de flores	Días a antesis	Peso seco de tallo	RAE	Días a inicio de maduración
135907	69.6 abc ^z	9.5 ab	11.9 abc	13.8 abcdef	6.7 cdefg	60.7 bcd	53.4 ab	1.8 ab	125.0 b
136113	62.9 abcd	8.5 abcd	11.5 abcd	13.6 bcdef	7.7 abcde	60.0 bcd	38.5 bcdefgh	3.0 ab	146.5 a
136652	63.3 abcd	8.7 abcd	12.5 ab	14.3 abcde	6.8 cdefg	59.5 bcd	45.4 abcdef	2.2 ab	129.5 ab
136703	63.8 abcd	8.8 abcd	11.5 abcd	13.2 bcdef	5.0 h	60.5 bcd	42.8 abcdefg	1.7 b	130.7 ab
30963	68.2 abcd	9.0 abcd	12.6 ab	14.4 abcd	6.1 dfg	59.7 bcd	48.1 abcde	3.1 ab	125.7 b
31014	65.9 abcd	9.2 abcd	12.2 ab	13.3 bcdef	7.0 bcdef	62.0 abcd	49.6 abcd	1.8 ab	133.0 ab
Attention	65.4 abcd	8.5 abcd	12.3 ab	14.2 abcde	6.4 cdefgh	59.7 bcd	49.5 abcd	3.1 ab	124.5 b
Badro	68.1 abcd	9.1 abcd	12.2 ab	14.6 abc	7.1 abcdef	60.2 bcd	45.6 abcdef	2.0 ab	135.5 ab
Better Boy	62.6 abcd	8.4 abcd	10.8 bcd	12.4 bcdef	6.2 cdefgh	61.0 abcd	41.5 bcdefg	2.7 ab	134.0 ab
Big Beef	62.6 abcd	8.5 abcd	12.2 ab	13.7 bcdef	6.7 cdefgh	61.2 abcd	40.8 bcdefg	2.6 ab	129.0 ab
Bond	59.9 abcd	8.7 abcd	12.2 ab	14.8 ab	7.0 bcdefg	61.5 abcd	36.3 cdefgh	2.8 ab	127.5 b
Caimán	67.3 abcd	9.7 a	12.2 ab	14.0 abcde	6.6 cdefgh	60.7 bcd	40.7 bcdefg	3.5 a	125.0 b
Carnaval	57.9 cd	8.5 abcd	12.0 abc	12.4 bcdef	6.5 cdefgh	62.5 abc	32.3 efgh	2.8 ab	133.2 ab
Charleston	62.8 abcd	8.5 abcd	12.3 ab	14.3 abcde	7.1 abcdef	60.7 bcd	44.6 abcdefg	2.1 ab	132.5 ab
EF 110	62.4 abcd	7.8 d	11.1 bcd	12.9 bcdef	6.1 defgh	59.0 cd	29.8 fgh	2.2 ab	126.2 b
EF 163	62.9 abcd	8.1 bcd	12.2 ab	12.8 bcdef	7.0 bcdefg	59.5 bcd	28.3 gh	2.5 ab	126.7 b
Floradade	62.8 abcd	8.4 abcd	12.4 ab	13.8 abcdef	7.2 abcdef	63.0 abc	40.8 bcdefg	2.7 ab	137.5 ab
Gabriela	69.7 abc	8.9 abcd	11.8 abc	14.0 abcde	7.9 abcd	60.7 bcd	51.9 abc	2.1 ab	129.0 ab
Gironda	67.5 abcd	9.1 abcd	12.2 ab	13.3 bcdef	6.9 bcdefgh	60.5 bcd	51.3 abcd	2.6 ab	125.2 b
Halley	53.9 d	8.1 cd	10.7 bcd	11.0 f	7.3 abcdef	61.2 abcd	23.0 h	2.7 ab	130.0 ab
Hayslip	60.1 abcd	8.1 cd	12.3 ab	12.9 bcdef	8.9 a	62.5 abc	40.1 bcdefg	2.1 ab	127.5 b
Imperial	72.6 ab	9.2 abcd	12.4 ab	16.6 a	7.7 abcde	61.2 abcd	45.2 abcdef	2.2 ab	124.0 b
Jubille	58.7 bcd	8.6 abcd	12.3 ab	14.0 abcde	6.2 cdefgh	65.5 a	37.7 bcdefgh	3.2 ab	137.0 ab
Kastalia	73.7 a	9.2 abcd	12.2 ab	14.2 abcde	7.0 bcdefg	61.5 abcd	60.2 a	2.6 ab	121.0 b
Lemon Boy	61.3 abcd	8.1 bcd	12.1 ab	13.4 bcdef	6.6 cdefgh	61.2 abcd	37.0 bcdefgh	3.2 ab	134.0 ab
Lorena	58.2 cd	8.7 abcd	12.1 ab	14.5 abc	8.8 ab	61.2 abcd	38.4 bcdefgh	3.2 ab	130.7 ab
Lucky Lady	61.7 abcd	8.3 abcd	11.3 abcd	12.8 bcdef	6.0 defgh	60.5 bcd	35.8 cdefgh	2.3 ab	134.0 ab
Miramar	69.4 abcd	9.4 abc	12.3 ab	14.4 abcde	8.1 abc	61.0 abcd	51.5 abc	1.75 b	131.0 ab
Monte Verde	64.1 abcd	8.4 abcd	13.1 a	14.1 abcde	7.4 abcde	62.7 abc	41.7 bcdefg	2.0 ab	131.5 ab
Nema 1400	60.7 abcd	8.2 abcd	10.0 cd	11.6 def	6.6 cdefgh	61.5 abcd	30.5 fgh	2.2 ab	127.0 b
Pike Ripe 461	59.9 abcd	8.0 cd	11.8 abc	13.0 bcdef	5.9 efgh	59.0 cd	35.0 defgh	2.7 ab	125.2 b
Pike Ripe 747	60.7 abcd	8.2 bcd	11.8 abcd	13.1 bcdef	6.7 cdefgh	57.7 d	32.5 efgh	2.5 ab	127.7 b
PS 15105	65.9 abcd	8.62 abcd	12.0 abc	14.2 abcde	5.3 gh	58.5 cd	40.2 bcdefg	2.3 ab	128 b
Sedona	61.0 abcd	8.7 abcd	11.6 abcd	13.2 bcdef	5.9 efgh	61.2 abcd	43.5 bcdefg	1.7 b	133.5 ab
Sun Master	61.6 abcd	8.1 bcd	11.7 abcd	11.9 cdef	7.2 abcdef	61.2 abcd	36.4 cdefgh	2.7 ab	136.5 ab
Terrific VFN	59.7 abcd	8.6 abcd	11.8 abc	13.6 bcdef	7.0 abcdefg	60.0 bcd	39.0 bcdefgh	3.2 ab	137.0 ab
Tropic	57.1 cd	8.2 abcd	9.8 d	11.49 ef	5.4 fgh	64 ab	29.5 fgh	2.1 ab	137.5 ab
Superiores (No.)	33	34	29	17	12	31	12	36	36
DMSH	14.3	1.5	1.9	2.8	1.91	4.6	16.4	1.6	18.2

^zValores con la misma letra dentro de columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$).

¹RAE = Resistencia a enfermedades, escala de 1 al 5. 1 = menos enfermas, 5 = más enfermas.

Cuadro 4. Continuación.....

Variedad	Frutos no comerciales		Frutos Chicos		Frutos medianos		Frutos grandes		Frutos extragrandes	
	Número	Peso (g)	Número	Peso (g)	Número	Peso (g)	Número	Peso (g)	Número	Peso (g)
135907	1.2 cd ^z	20.6 d	2.6 cdef	140 bcd	2.7 ab	294.6 ab	1.1 abc	172.9 abc	1.7 abcde	430.5 abcdef
136113	1.7 cd	28.6 d	2.7 bcdef	156.7 bcd	3.4 a	361.9 ab	2.0 abc	331.3 abc	1.4 abcde	330.1 abcdef
136652	1.4 cd	21.5 d	2.7 bcdef	146.1 bcd	2.0 ab	219.0 ab	1.5 abc	251.1 abc	1.1 abcde	279.3 bcdef
136703	1.0 cd	12.9 d	1.9 f	120.6 cd	2.3 ab	269.9 ab	1.4 abc	256.1 abc	1.8 abcde	456.9 abcdef
30963	0.3 d	6.3 d	1.6 f	87.8 d	2.0 ab	241.8 ab	1.4 abc	233.3 abc	3.0 a	817.5 a
31014	1.7 cd	30.7 d	2.7 bcdef	140.4 bcd	2.7 ab	306.6 ab	1.4 abc	212.1 abc	2.3 abc	595.7 abcd
Attention	1.1 cd	17.5 d	2.4 ef	122.7 cd	2.6 ab	296.4 ab	1.5 abc	260.9 abc	2.0 abcde	474.8 abcdef
Badro	1.5 cd	22.1 d	3.3 bcdef	183.9 bcd	3.6 a	351.4 ab	2.0 abc	339.7 ab	2.2 abc	570.4 abcd
Better Boy	0.4 cd	5.2 d	2.3 ef	136.6 bcd	1.7 ab	192.9 ab	1.2 abc	204.5 abc	2.1 abcd	535.2 abcde
Big Beef	0.6 cd	13.9 d	2.5 def	121.0 cd	1.8 ab	207.0 ab	1.0 abc	158.8 abc	2.5 abc	692.0 abc
Bond	0.7 cd	9.1 d	2.2 f	112.3 cd	2.2 ab	226.2 ab	0.8 abc	135.2 abc	2.0 abcde	517.6 abcdef
Caimán	0.7 cd	9.6 d	2.2 f	121.7 cd	2.2 ab	240.0 ab	1.8 abc	287.7 abc	2.3 abc	614.4 abcd
Carnival	1.6 cd	27.0 d	2.0 f	107.9 cd	1.8 ab	204.6 ab	0.7 abc	127.4 abc	1.5 abcde	403.2 abcdef
Charleston	0.8 cd	9.7 d	2.7 bcdef	144.5 bcd	2.6 ab	287.4 ab	2.0 abc	325.1 abc	3.1 a	774.5 ab
EF 110	1.8 cd	22.5 d	4.2 bcdef	136.0 bcd	2.7 ab	296.4 ab	1.5 abc	234.3 abc	1.4 abcde	305.4 abcdef
EF 163	1.4 cd	42.2 cd	3.4 bcdef	188.4 bcd	3.4 a	383.7 a	1.9 abc	276.3 abc	1.4 abcde	358.6 abcdef
Floradade	8.1 a	104.1 a	5.8 b	274.5 bcd	3.1 ab	357.8 ab	1.3 abc	219.4 abc	0.5 cde	112.9 def
Gabriela	1.8 cd	22.5 d	3.8 bcdef	214.4 bcd	3.5 a	391.0 a	2.6 a	427.5 a	1.5 abcde	343.1 abcdef
Girona	1.9 cd	33.8 d	2.6 cdef	147.3 bcd	2.2 ab	249.8 ab	2.2 ab	384.3 ab	1.8 abcde	449.0 abcdef
Halley	5.9 ab	111.6 a	9.3 a	618.4 a	0.7 b	85.0 b	0.0 c	0.0 c	0.0 e	0.0 f
Hayslip	6.6 ab	96.3 ab	5.7 bc	286.4 bc	2.3 ab	257.0 ab	0.8 abc	144.3 abc	0.6 cde	148.5 def
Imperial	1.0 cd	17.0 d	2.2 ef	130.1 cd	2.3 ab	252.6 ab	1.4 abc	233.7 abc	2.8 ab	813.5 a
Jubille	1.0 cd	18.0 d	2.2 f	104.1 cd	2.8 ab	291.4 ab	1.4 abc	230.7 abc	1.1 abcde	271.9 bcdef
Kastalia	1.7 cd	17.3 d	3.1 bcdef	165.1 bcd	2.7 ab	291.3 ab	2.4 ab	371.6 ab	0.9 bcde	213.7 cdef
Lemon Boy	1.3 cd	25.6 d	3.2 bcdef	179.5 bcd	2.5 ab	290.6 ab	1.2 abc	218.0 abc	2.4 abc	603.0 abcd
Lorena	3.1 bcd	44.1 bcd	4.3 bcdef	264.1 bcd	3.5 a	408.0 a	2.5 ab	434.5 a	0.5 cde	117.1 def
Lucky Lady	1.0 cd	15.6 d	3.6 bcdef	204.3 bcd	3.2 ab	374.1 a	1.8 abc	278.8 abc	1.2 abcde	301.2 abcdef
Miramar	2.1 cd	32.0 d	3.2 bcdef	167.2 bcd	3.9 a	425.1 a	2.0 abc	323.2 abc	2.1 abcd	432.3 abcdef
Monte Verde	6.3 ab	87.3 abc	5.6 bcd	281.6 bc	2.5 ab	262.8 ab	1.2 abc	198.4 abc	1.5 abcde	362.0 abcdef
Nema 1400	3.0 bcd	47.9 bcd	5.4 bcde	322.4 b	2.1 ab	250.3 ab	0.5 bc	93.1 bc	0.0 de	13.9 ef
Pike Ripe 461	0.9 cd	15.1 d	3.6 bcdef	189.5 bcd	3.5 a	381.7 a	1.9 abc	315.0 abc	1.1 abcde	293.2 abcdef
Pike Ripe 747	4.0 bc	58.5 abcd	4.5 bcdef	236.3 bcd	2.1 ab	220.5 ab	1.7 abc	270.5 abc	1.8 abcde	423.3 abcdef
PS 15105	0.6 cd	10.5 d	2.5 def	137.3 bcd	2.9 ab	338.7 ab	1.5 abc	249.6 abc	1.2 abcde	287.6 abcdef
Sedona	0.6 cd	11.2 d	2.6 cdef	156.5 bcd	2.7 ab	307.3 ab	2.0 abc	350.1 ab	2.3 abc	617.6 abcd
Sun Master	2.1 cd	27.7 d	3.5 bcdef	181.9 bcd	2.0 ab	220.8 ab	1.1 abc	187.8 abc	1.3 abcde	314.3 abcdef
Terrific VFN	1.8 cd	28.7 d	2.9 bcdef	161.3 bcd	2.1 ab	250.3 ab	1.2 abc	210.8 abc	2.3 abc	588.5 abcd
Tropic	2.0 cd	31.9 d	2.8 bcdef	145.3 bcd	2.2 ab	248.2 ab	1.5 abc	253.0 abc	0.6 cde	162.1 cdef
Superiores	33	33	32	33			35	35	30	28
(No.)										
DMSH	18.3	18.3	18.3	18.3	18.3	18.3	18.3	18.3	18.3	18.3

^aValores con la misma letra dentro de columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$).

Cuadro 4. Continuación.....

Variedad	No. Total de Frutos	Peso Medio de Fruto (g)	Rend. Temprano, cortes 1-3 (g)	Rendimiento Total (g)
135907	52.7 abcdefghi ^z	110.4 bcdef	3244.9 abcdef	5827.9 abcde
136113	59.5 abcdefg	106.8 cdef	3628.0 abcd	6346.5 abcd
136652	46.7 defghi	104.0 cdefgh	2665.3 abcdefg	4815.4 abcdef
136703	41.2 fghi	128.1 abcde	2818.4 abcdefg	5303.5 abcdef
30963	45.2 efghi	161.4 a	3758.5 abcd	7281.4 ab
31014	53.0 abcdefghi	121.4 bcdef	2393.2 abcdefgh	6107.4 abcde
Attention	51.7 abcdefghi	117.9 bcdef	3541.4 abcde	6155.7 abcde
Badro	47.7 cdefghi	115.6 bcdef	1789.7 cdefgh	5503.6 abcdef
Better Boy	37.7 ghi	134.1 abcd	2102.8 bcdefgh	5104.3 abcdef
Big Beef	40.7 fghi	138.0 abc	3050.5 abcdefg	5665.8 abcde
Bond	42.7 efghi	122.9 abcdef	3099.2 abcdefg	5253.2 abcdef
Caimán	46.7 defghi	138.3 abc	3858.0 abc	6368.1 abcd
Carnival	37.5 ghi	111.3 bcdef	1582.3 cdefgh	4133.6 cdef
Charleston	54.5 abcdefghi	134.6 abcd	3218.0 abcdef	7322.2 ab
EF 110	44.0 efghi	95.8 defghi	695.9 gh	4129.1 cdef
EF 163	43.7 efghi	106.8 cdefg	1163.2 efgh	4685.2 bcdef
Floradade	75.7 ab	56.8 j	1042.9 fgh	4275.5 cdef
Gabriela	71.0 abcd	103.4 cdefgh	3758.6 abcd	7343.4 ab
Gironda	57.5 abcdefgh	115.6 bcdef	3725.1 abcd	6637.7 abc
Halley	72.2 abcd	51.7 j	847.6 fgh	3667.9 def
Hayslip	73.0 abc	57.6 ij	1102.3 fgh	4197.0 cdef
Imperial	52.2 abcdefghi	147.1 ab	4547.3 a	7597.3 a
Jubille	32.0 hi	107.0 cdefg	887.4 fgh	3436.2 ef
Kastalia	63.5 abcdef	96.0 defghi	4331.8 ab	6089.9 abcde
Lemon Boy	48.7 cdefghi	121.6 bcdef	1953.3 bcdefgh	5926.5 abcde
Lorena	63.7 abcdef	89.5 efghij	2149.8 abcdefgh	5705.7 abcde
Lucky Lady	47.2 defghi	106.1 cdefg	1514.3 cdefgh	4990.5 abcdef
Miramar	67.2 abcde	102.8 cdefgh	2832.6 abcdefg	6900.5 abc
Monte Verde	77.7 a	69.4 ghij	1348.6 defgh	5365.5 abcdef
Nema 1400	52.7 abcdefghi	65.6 hij	1607.8 cdefgh	3457.2 ef
Pike Ripe 461	50.2 abcdefghi	106.9 cdef	1474.2 cdefgh	5376.3 abcdef
Pike Ripe 747	56.7 abcdefgh	86.6 fghij	859.5 fgh	5032.4 abcdef
PS 15105	44.5 efghi	114.6 bcdef	2080.3 bcdefgh	5119.5 abcdef
Sedona	47.5 cdefghi	137.6 abc	2694.3 abcdefg	6493.1 abcd
Sun Master	45.2 efghi	93.7 efghi	1342.5 defgh	4196.8 cdef
Terrific VFN	47.5 cdefghi	119.4 bcdef	2803.6 abcdefg	5579.1 abcde
Tropic	30.2 i	89.2 efghi	150.4 h	2732.3 f
Superiores (No.)	16	9	19	27
DMSH	25.6	39.2	2424	2839.6

^zValores con la misma letra dentro de columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$).

Ante la situación de encontrar respuesta satisfactoria en muchas de las variedades, se considera que cualquiera de las 27 que resultaron con valores más altos en el rendimiento total, pueden ser consideradas como aptas para ser cultivadas en ambientes no restrictivos como lo es la agricultura protegida.

5.6. Conclusión

Con base en los resultados tan amplios obtenidos en el presente apartado y en la observación del comportamiento de algunas de las variedades contempladas en el presente estudio, se considera continuar los trabajos sucesivos con la variedad Charleston.

6. ESTUDIO MORFOLÓGICO DE LA DIFERENCIACIÓN FLORAL EN JITOMATE

6.1. Introducción

El ápice es la posición en donde se ubica el meristemo apical y este a su vez contiene el tejido meristemático a partir del cual se derivan todos los demás tejidos y órganos que constituyen el vástago. El tallo con sus nudos y entrenudos, hojas, yemas axilares y los brotes laterales existentes, y más tarde las estructuras reproductivas, se originan por la actividad de los meristemas apicales (Esau, 1982; Greyson, 1994).

En las plantas con semilla, el meristemo apical del tallo principal se organiza en el embrión antes o después de la aparición de los cotiledones. De acuerdo con un concepto general, un meristemo apical está constituido por a) las células iniciales, que son las que originan a todas las células del cuerpo y b) las células derivadas de estas iniciales que son células en activa división pero que por su posición y sus planos de división van conformando las regiones de tejidos subyacentes al meristemo apical (Hartman y Kester, 1983).

Según Hartman y Kester (1983) y Esau (1982), las células iniciales conjuntamente con las derivadas más recientes, pueden ser consideradas como la parte de un meristemo apical menos diferenciada. El término promeristemo o protomeristemo es la manera clásica de designar a esta parte del ápice. El término puede ser aplicado

en el mismo sentido al ápice radicular, pero con respecto a ese órgano, promeristemo ha adquirido un significado diferente a la formulación del concepto del centro quiescente.

También Esau (1982), citando a Schmidt (1924) ilustra como en la gran mayoría de las especies los meristemas del vástago están constituidos por una zona central de células meristemáticas o primarias, cubiertas por una túnica de una o más capas de células; esta zona meristemática va generando nuevas células mediante divisiones periclinales y anticlinales, las cuales a su vez se diferencian en tejidos para constituir los primordios foliares, el procambium, nudos, yemas axilares y a todas las células que posteriormente se diferencian para dar origen a los tejidos y órganos que conformarán el cuerpo de la planta.

En la planta de jitomate la primera inflorescencia se origina del meristemo apical (Sekhar y Sawhney, 1984) y el cambio del estado vegetativo a reproductivo en cada inflorescencia ocurre en alrededor de 10 días y en el primer racimo floral ese cambio ocurre entre los 8 y los 21 días después de la expansión de los cotiledones (Aung, 1978).

La información existente de cómo y cuándo ocurre la diferenciación y desarrollo de las inflorescencias del jitomate es escasa, por lo que resulta imprescindible conocer con precisión la forma y el tiempo en que se lleva a cabo el desarrollo del racimo

floral, para así entender como ocurre el fenómeno y buscar la manera de influir sobre el comportamiento del mismo para mejorar este componente del rendimiento.

6.2. Objetivo

Detectar y describir de manera detallada con el apoyo de imágenes, el periodo de tiempo y los cambios morfológicos que ocurren en la diferenciación y desarrollo floral de la primera inflorescencia en jitomate.

6.3. Materiales y métodos

6.3.1. Lugar y fecha de realización

Esta segunda fase del estudio se condujo en el periodo de mayo a agosto de 2004, en el Laboratorio de Fisiotecnia Vegetal y en la Unidad de Microscopía Electrónica del Colegio de Postgraduados.

6.3.2. Material vegetal

Como material vegetal se usaron plántulas de jitomate de la variedad Charleston, porque fue una de las variedades evaluadas como sobresalientes en el Punto 5; además de esta consideración el autor tiene conocimiento sobre su comportamiento en agricultura protegida y para los fines del trabajo se considera como satisfactoria;

por ambas causas se decidió seguir trabajando con dicha variedad en las fases siguientes del estudio.

6.3.3. Germinación y cuidados de la plántula

La semilla se germinó en charolas de poliestireno de 200 cavidades cada una (Figura 2), previamente llenadas con “peat moss” (turba canadiense) como sustrato. Se sembró una semilla por cavidad de la charola. La temperatura durante el día fluctuó entre 15 y 30 °C y las plántulas se regaron manualmente con una solución preparada con las siguientes concentraciones de elementos minerales (en mg L⁻¹): N = 173, P = 60, K = 200, Ca = 250, Mg = 55, S = 150, Fe = 5, Mn = 3, Cu = 1, B = 0.5 y Zn = 0.5 (modificada de Ucan *et al.*, 2005).



Figura 1. Etapa fenológica en la que ocurre desarrollo floral del primer racimo en jitomate: A) 20 días después de la siembra, y B) 30 días después de la siembra.

6.3.4. Periodo de monitoreo de meristemos

Los meristemos de las plántulas se observaron al microscopio a distintas edades, desde los 15 días después de la siembra (dds) hasta los 30 dds, para lo cual se eliminaron los primordios de las hojas que los envolvían; la disección y observación se llevo a cabo en 20 a 25 plantas cada día; esto con la finalidad de determinar el inicio y fin del periodo en que ocurre el desarrollo floral de la primera inflorescencia, se realizó con la ayuda de un microscopio estereoscópico y con micronavaja de corte, microagujas de disección y micropinzas de sujeción.

6.3.5. Preparación y toma de fotografías de los meristemos

De las observaciones al microscopio estereoscópico se seleccionaron 50 meristemos representativos de la secuencia del proceso de diferenciación y desarrollo floral, tales muestras se aislaron y procesaron con la siguiente metodología de preparación de muestras para la toma de fotografías en el microscopio electrónico de barrido:

Fijación del tejido

- Fijación en glutaraldehído al 3 %.
- Lavado tres veces en solución buffer de fosfatos a una concentración de 0.16 M y un pH de 7.3.

Post fijación en amonio

- Deshidratación con cambio cada 10 minutos de etanol a cada una de las siguientes concentraciones de alcohol: 30 %, 40 %, 50 %, 60 %, 70 %, 80 %, 90 % y dos cambios de alcohol absoluto.
- Secado a punto crítico con CO₂.
- Montaje de muestras sobre portamuestras de 0.5 cm de diámetro.
- Recubrimiento con oro en ionizadora de metales.

Observación al microscopio electrónico de barrido de la marca y modelo GEOL JSM-35C

Con el fin lograr mayor contraste en las fotografías en el procedimiento para la preparación de las muestras también se puede agregar osmio, que en el presente trabajo se omitió.

Una vez llevados a cabo todos estos pasos se procedió a la toma de las fotografías, enfocando las imágenes sobre los campos en donde se pudiera apreciar el proceso de diferenciación del meristemo en sus diferentes etapas de desarrollo tanto vegetativo como reproductivo. Los eventos que aquí no se pudieron registrar se obtuvieron de la literatura.

Los registros de los resultados del presente trabajo consistieron en ubicar el periodo de tiempo en que ocurre la diferenciación, así como describir la secuencia del proceso desde la diferenciación del meristemo, hasta la conformación de todos los botones y primordios florales que se establecieron en la primera inflorescencia.

6.4. Resultados y discusión

En el trabajo no se fotografiaron todas las fases de desarrollo de la inflorescencia (sobre todo la fase final), debido a la complejidad manual de la técnica y a la carencia de medios para realizarla con el detalle que se requiere; por consiguiente, se usan como apoyo algunas publicaciones de autores que han trabajado sobre el particular.

6.4.1. El meristemo en estado vegetativo

El meristemo apical en estado vegetativo (Figura 2) se mostró completamente redondo (Figura 2B), siempre protegido por primordios de hoja que lo rodean; los dos primordios de hoja más próximos en esta etapa son glabros, pero a medida que pasa el tiempo se van cubriendo de tricomas, lo cual dificulta el proceso de disección y observación del meristemo; la apariencia que presenta al observarlo al microscopio estereoscópico en este estado aparenta una micro gota de agua colocada en el ápice del vástago; es conveniente para poderlo ubicar, no remover los dos últimos primordios de hoja (Figura 2C).

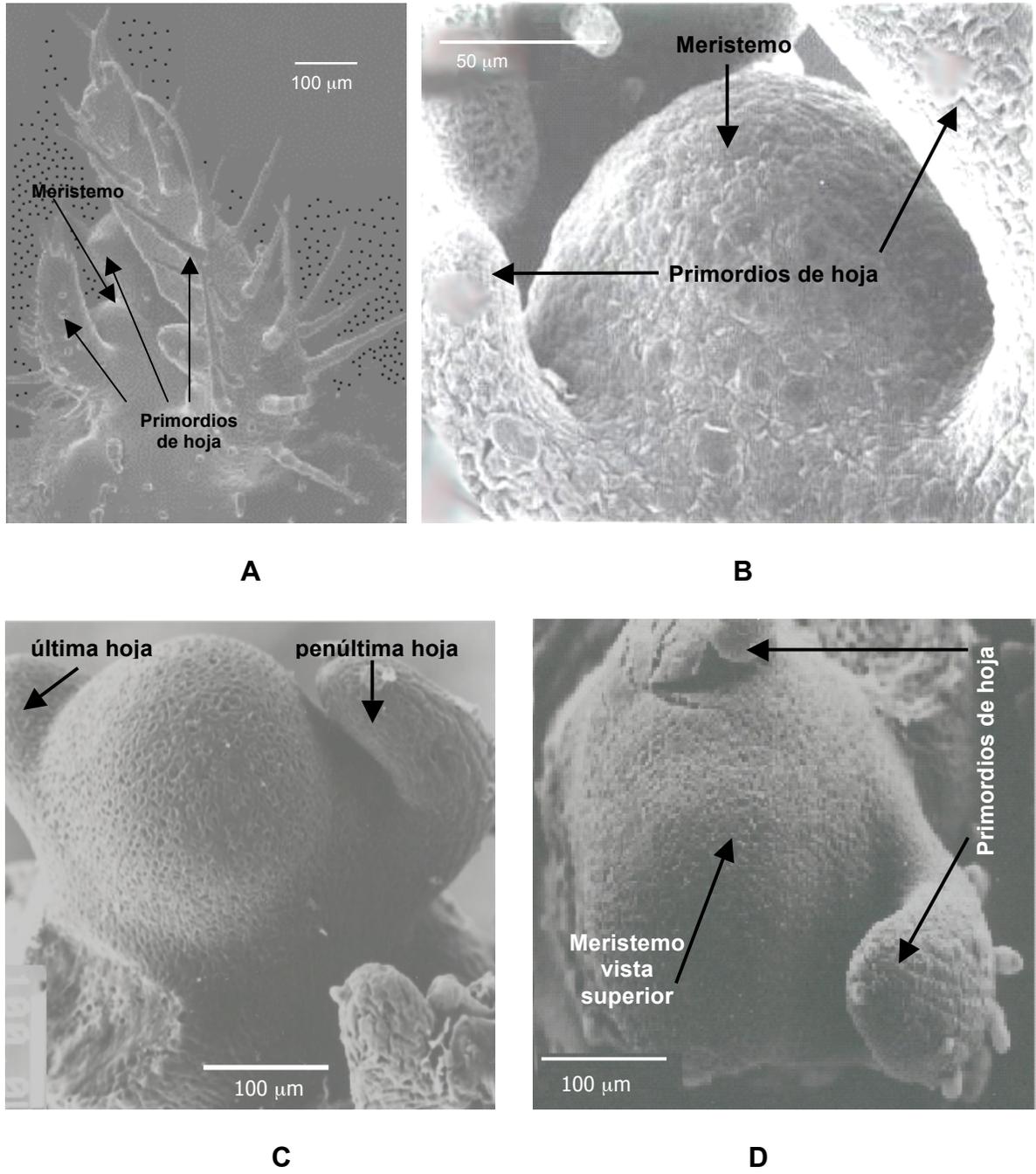


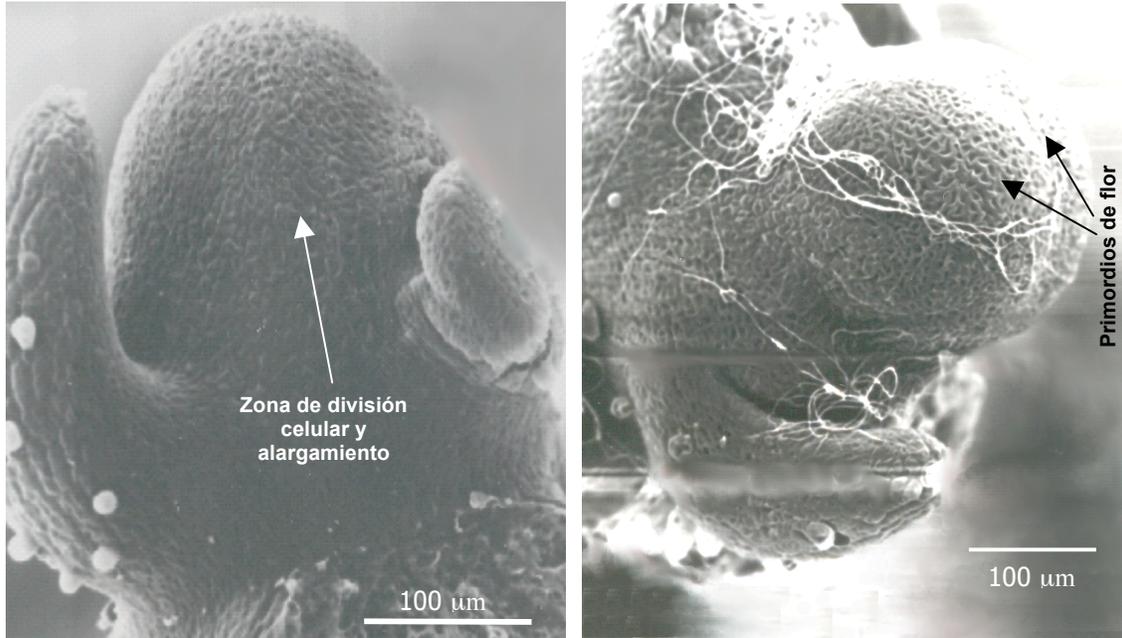
Figura 2. Meristemo de jitomate en estado vegetativo: **A)** Ápice con tres primordios de hoja (Fleming, 2007), **B)** Acercamiento con dos primordios de hoja (Sekhar y Sawhney, 1984) **C)** Vista lateral superior con dos primordios de hoja y uno removido (foto: propia), **D)** Vista superior con dos primordios de hoja (propia).

6.4.2. Iniciación de la diferenciación floral

El cambio del meristemo apical de estado vegetativo a reproductivo ocurrió cuando el vástago diferenció alrededor de 7 fitómeros, aunque la plántula tenía visibles entre 2 y 3 hojas. El inicio de cambio del estado vegetativo a reproductivo se detectó, como promedio en 25 plantas, a los 20 dds.

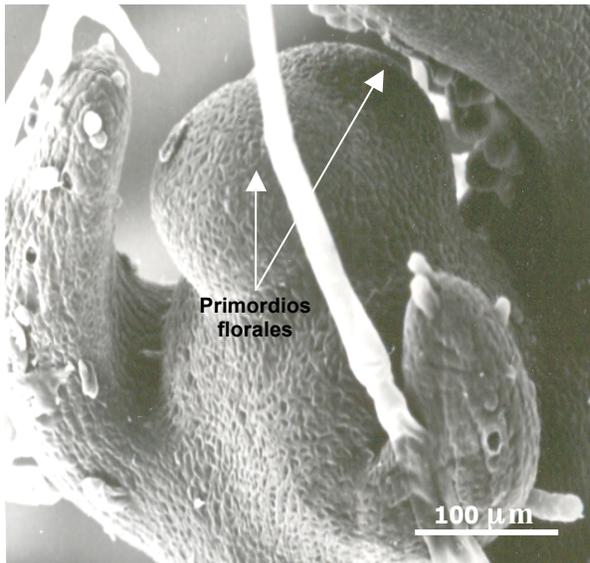
La primera manifestación del desarrollo reproductivo que se registró fue el alargamiento del meristemo apical que aún conservaba la forma redondeada (Figura 3A), presumiblemente debido a la división celular ocurrida en el plano periclinal desde el centro del meristemo (Szymkowiak y Sussex, 1992), esto es la primera expresión visible de la transición del estado vegetativo al reproductivo. Posteriormente se da un achatamiento de la punta del mismo y el primer primordio de flor individual; en ocasiones aparecen en dos primordios contiguos de tamaños similares (Figura 3B), aunque uno de ellos dominará y tendrá un crecimiento más acelerado (Figura 3D). En este estado de desarrollo, los primordios de hoja comienzan a formar tricomas.

Los tricomas en la planta de jitomate pueden ser de tres tipos: glandulares, no glandulares y con células basales; los de tipo glandular segregan una sustancia de color verde que es la que da el olor y color característicos en hojas y tallos. De hecho todos los órganos de la planta de jitomate tienen alguno de estos tipos de tricomas y comienzan a surgir desde las etapas iniciales de diferenciación de los órganos (Sekhar y Sawhney, 1984).

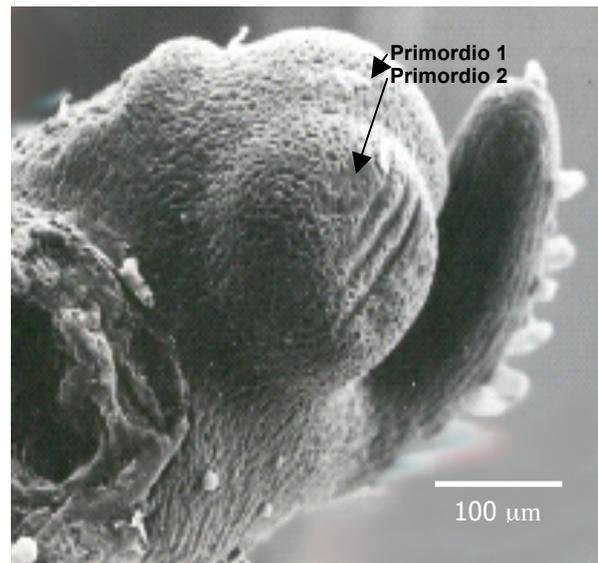


A

B



C



D

Figura 3. Transición del meristemo de jitomate de estado vegetativo a reproductivo (propias): **A)** Meristemo alargado aun en forma de domo, **B)** Conformación de dos protuberancias (primordios florales), **C)** Aplanado del domo con dos primordios florales, **D)** Dos primordios florales (uno dañado).

Una vez que se inicia el proceso de diferenciación y que se puede observar el primer primordio floral (Figura 4), en la base del mismo comienzan a surgir nuevas protuberancias que posteriormente se convertirán en primordios de nuevas flores del racimo (Figuras 4B y C), suceso que en el estudio ocurrió alrededor de los 23 a 24 dds. Al parecer la diferenciación de los nuevos primordios florales ocurre en dirección basípeta. Cuando ya es notorio el segundo primordio floral, en el primero comienzan a aparecer los primordios de sépalos, cuya diferenciación también es en dirección basípeta (Sekhar y Sawhney, 1984).

En esta fase también ocurre la aparición de una yema vegetativa en la axila de uno de los primordios foliares (Figuras 4A y D), Como también lo reportan Sekhar y Sawhney (1984), una vez que ha terminado el desarrollo de la inflorescencia y ante la necesidad de continuar el crecimiento de la planta, retomará la dominancia apical y desplazará lateralmente a la inflorescencia, lo que dará la apariencia de que el racimo floral se diferenció de una yema lateral. Esta forma de diferenciación floral a partir del meristemo terminal es característica de *Lycopersicon esculentum* y es diferente a como ocurre en otras especies de planta. En *Lycopersicon pennellii*, que es un tipo de jitomate silvestre existente en la zona andina, la diferenciación ocurre a partir de yemas axilares (Tabuchi *et al.*, 2000).

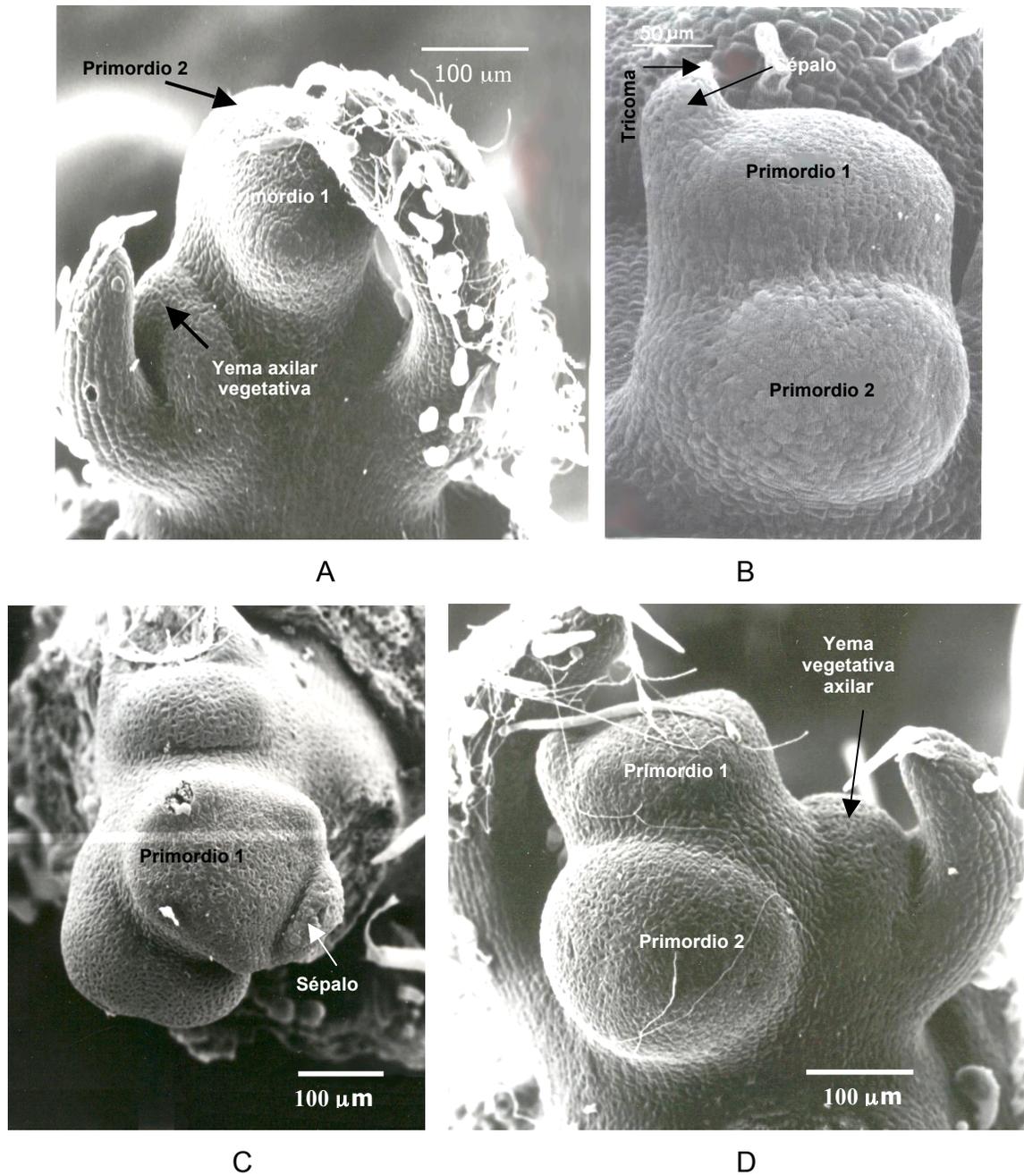


Figura 4. Conformación de los primeros primordios florales: **A)** Primordios florales con yema axilar vegetativa (propia), **B)** Primordio 1 con el primer sépalo y en él un tricoma, primordio 2 formado en la base del primero (Sekhar y Sawhney, 1984), **C)** Vista superior de un primordio floral con inicio de sépalos (propia), **D)** Vista lateral con dos primordios florales y una yema axilar (propia).

6.4.3. Desarrollo de botones florales

El inicio de la formación de sépalos, pétalos, estambres y pistilo de la primera flor ocurrió entre los 24 y 27 dds y mientras que se estaban diferenciando estos órganos en la primera flor, se iba conformando la segunda y en la misma, se estaba iniciando un proceso similar y a medida que transcurrió el tiempo fueron surgiendo la segunda, tercera, cuarta y así sucesivamente hasta completar el número total de flores en la inflorescencia, dándose en cada una el mismo proceso. La definición del número total de flores en el primer racimo ocurrió a los 30 dds.

Según Sekhar y Sawhney (1984) y Sawney y Greyson (1972), la aparición de los sépalos se da en forma alternada en el sentido en que se mueven las manecillas del reloj, desde S1 a S5 (Figura 5A); debajo de los sépalos (S) (Figura 5B) iniciarán los pétalos (P), cuya aparición es en forma verticilada y a medida que crecen envuelven al meristemo (Figura 5C), así como la de estambres (St) los cuales pueden observarse si se remueven los sépalos (uno bilobulado señalado con flecha), también se aprecia el inicio de formación de carpelos (C) y por tanto del pistilo. Estos mismos autores señalan que los distintos órganos, a medida que van apareciendo, van formando tricomas en dirección de forma basípeta, como se pueden ver en la punta de los pétalos de la Figura 5C.

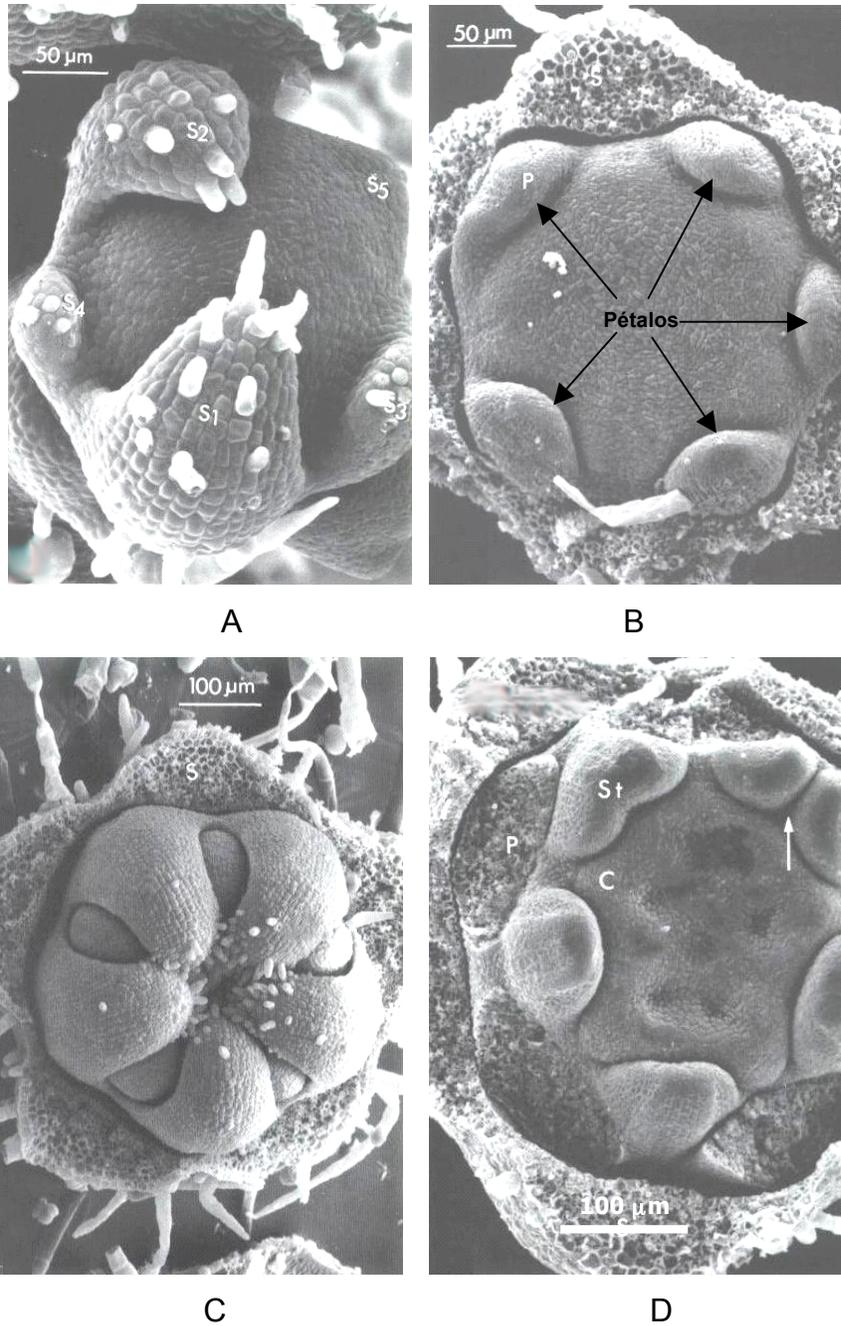


Figura 5. Formación del primer botón floral (Sekhar y Sawhney, 1984): **A)** Aparición de sépalos en forma alternada en el sentido de las manecillas del reloj, **B)** Aparición de pétalos en forma verticilada, **C)** Primordio de botón floral con sépalos (S) removidos, pétalos jóvenes curvados hacia la punta de la región meristemática, **D)** Aparición de primordios de estambres y carpelos.

6.4.4. Desarrollo del androceo

Según Sekhar y Sawhney (1984) y Fleming (2007), a medida que las anteras crecen van adquiriendo la forma lobulada y en sus primeras etapas son glabras (Figura 6A). Al alcanzar su tamaño final, presentan tricomas que fusionados conforman una cámara o cono estaminal cerrado, en cuyo interior se encuentra el pistilo, lo que evita el intercambio de polen con otras flores. Para que se pueda dar la formación de ese cono casi “hermético”, las anteras se van uniendo en forma adyacente conforme se desarrollan (Figuras 6B, C y D), iniciando desde la parte central hacia la punta y hacia la base; dicha unión se da con la emisión y entrelazamiento de tricomas que surgen tanto en forma adaxial como abaxial y lateral (Figura 6D). Tanto en el ápice como en la base del cono estaminal pueden quedar ligeras aperturas en donde los tricomas no se entretejen perfectamente (Figuras 6D y E), lo cual explica la ligera alogamia de la especie.

En el interior del cono estaminal, la posición del estigma se ubicará en la punta del mismo y la dehiscencia del polen en las anteras ocurrirá internamente hasta un nivel por debajo del estigma, lo que explica que la especie tenga algunos problemas de polinización, sobre todo cuando el movimiento de las flores es poco o nulo y para ello se debe recurrir a prácticas como insectos polinizadores o vibración de las plantas.

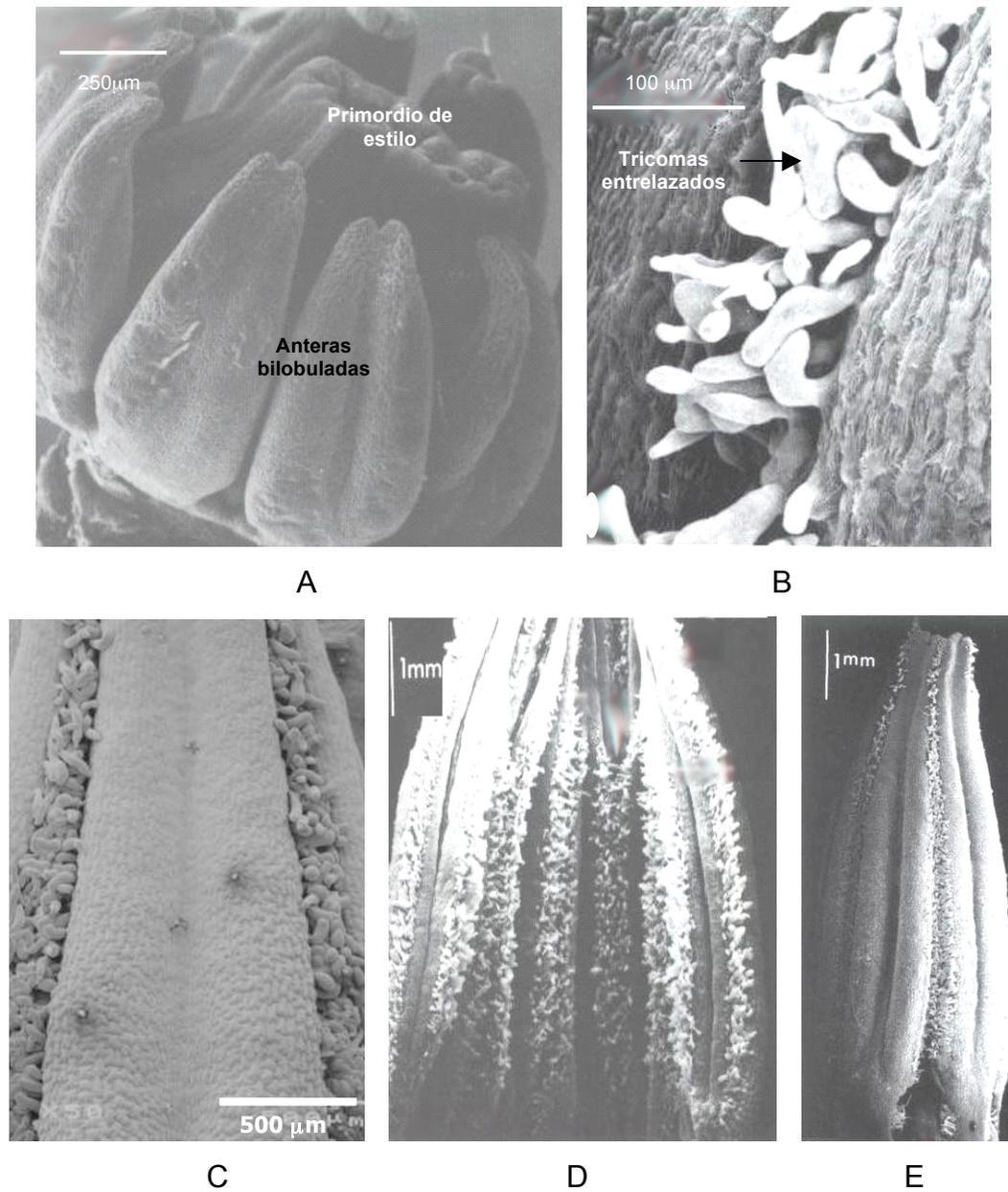


Figura 6. Desarrollo del androceo (Sekhar y Sawhney, 1984, para A, B, D, E y F; Fleming, 2007 para C): **A)** Desarrollo de estambres con anteras bilobuladas, **B)** Entrelazamiento de tricomas, **C)** Superficie externa de anteras unidas, **D)** Superficie adaxial del cono estaminal maduro, con hileras de tricomas, **E)** Cono estaminal con apertura en la base.

6.4.5. Desarrollo del gineceo

Mientras se está desarrollando el androceo, debajo de él también se está diferenciando el gineceo, el cual se inicia en la base del primordio floral. Desde su inicio como primordio es posible apreciar los carpelos y lóculos de manera individual, que dan la apariencia de un volcán al observar toda la estructura en su conjunto (Figura 7B). Mediante un corte longitudinal se puede observar el crecimiento del tabique (Ta) y la formación de lóculos (Lc) y carpelos (Cp) (Figura 7C). A medida que se alargan los carpelos y se desarrolla el estilo, los lóculos se van fusionando en la parte distal y esta aparte fusionada es la que constituye el estilo (Figuras 7E y F), que sigue creciendo hasta que aparece el estigma (Figura 7G) que luego forma las células con papilas estigmáticas (Figura 7H) encargadas de producir sustancias específicas de la especie que son las que dan la señal para que germine el grano de polen, emita el tubo polínico y se realice la penetración del mismo en el estigma para dar paso a la fertilización.

Conforme se desarrollan los lóculos del ovario, en su interior se generan y maduran los óvulos (Figura 7I), hasta que se conforma el gineceo completo (Figura 7I y J). Esta secuencia de eventos en la diferenciación de una flor en una inflorescencia se repite en cada una del racimo hasta que éste quede completamente formado con todas sus flores.

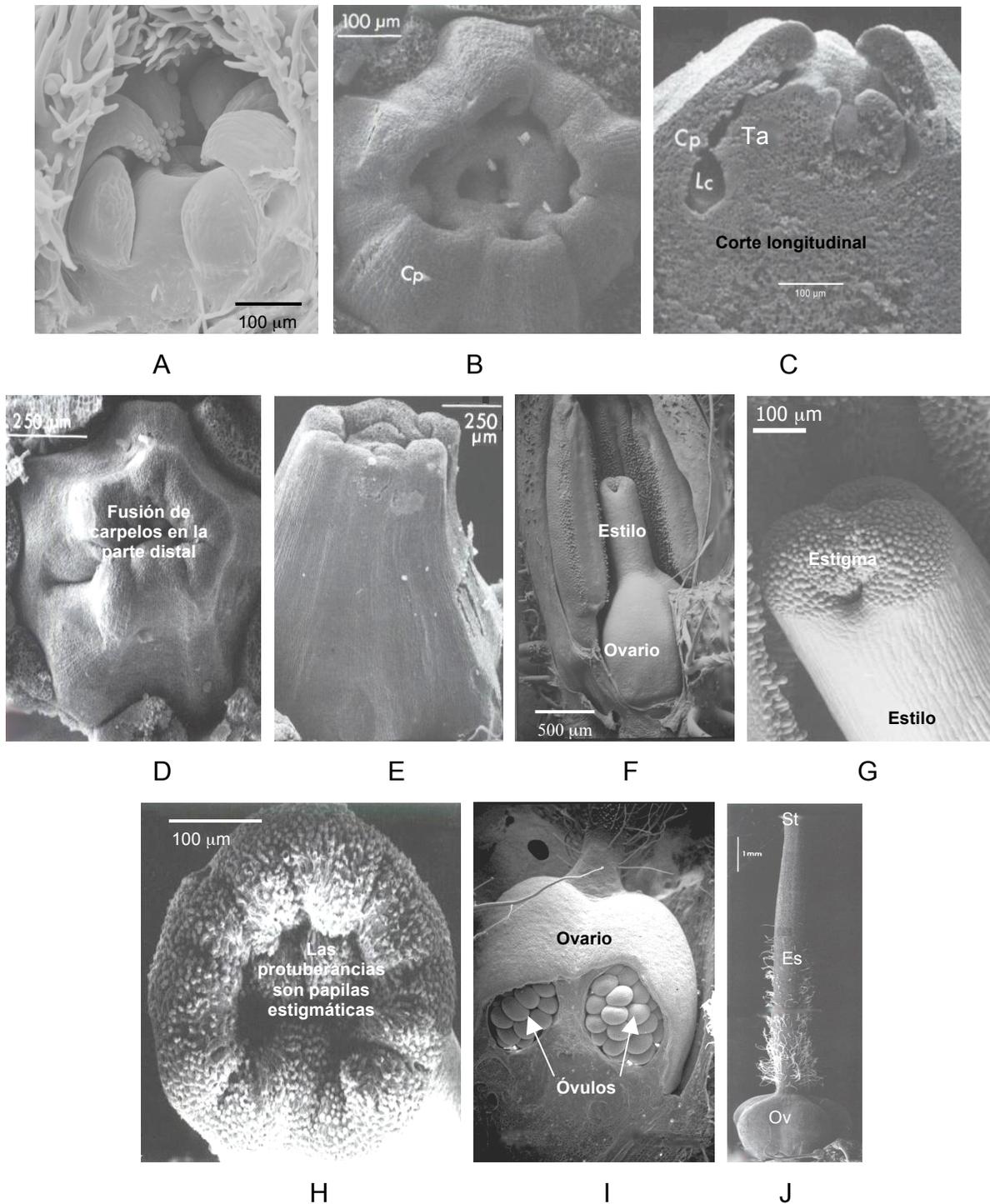


Figura 7. Desarrollo del gineceo: A, E, F, G e I, Fleming (2007); el resto Sekhar y Sawhney (1984): **A)** Ovario iniciando, **B)** Desarrollo del pistilo mostrando carpelos individuales (Cp), **C)** Sección longitudinal de un pistilo, **D)** Vista superior del desarrollo de un pistilo, **E)** Desarrollo del pistilo, **F)** Formación del ovario y prolongación del estilo, **G)** Parte distal del estilo en desarrollo, **H)** estigma mostrando células papilosas, **I)** Ovario mostrando óvulos, **J)** Pistilo maduro mostrando el ovario (Ov), estilo (Es) y estigma (St).

6.4.6. Conformación del racimo floral

Cuando aparece el primordio de la primera flor, siempre hacia la base del mismo se van diferenciando otros primordios florales hasta completar el número total que contendrá el racimo; con base en las imágenes de la Figura 8 se puede apreciar que la flor más desarrollada es la distal del racimo y la menos desarrollada es la basal, aunque cuando el racimo es visible en la planta, el fenómeno parece haber ocurrido en forma contraria, ya que las flores basales son las más maduras y las distales las menos desarrolladas. Todo hace suponer que en un racimo las flores basales, por estar más cercanas a la fuente de asimilados, invierten el proceso de desarrollo en su favor al acumular la mayoría de fotoasimilados que se dirigen hacia el racimo floral y las apicales disponen de menos carbohidratos por lo que acumulan menores tasas de crecimiento.

En la mayoría de las variedades con fruto tipo bola se pudo observar (Punto 5) que el número de flores que se forman por racimo varía entre 6 y 8.

La observación de la diferenciación y desarrollo, tanto de una flor individual, como de la inflorescencia completa a nivel microscópico no es fácil, en este trabajo sólo se pudo observar la evolución en los primeros cinco primordios de flores; cuando esto ocurrió ya habían transcurrido entre 27 y 29 dds. Para este momento, aunque no se pudo fotografiar, ya había iniciado la diferenciación de la segunda inflorescencia; es decir, que este proceso se traslapó entre racimos.

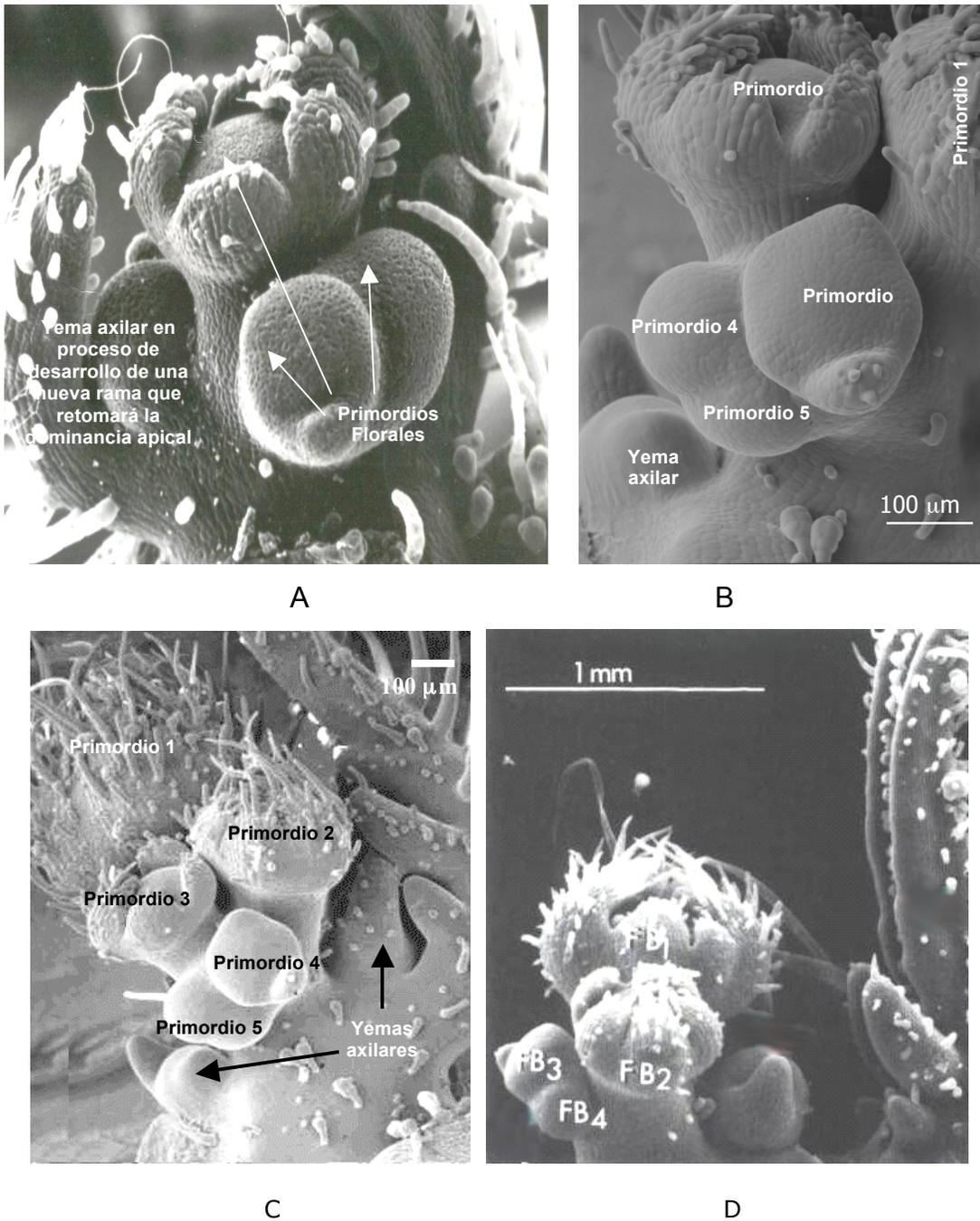


Figura 8. Conformación del racimo floral: **A)** Vista de un racimo floral con tres primordios de botones florales (foto propia), **B)** Desarrollo floral basípeto (Fleming, 2007), **C)** Desarrollo floral basípeto con cinco primordios y una yema vegetativa (Fleming, 2007), **D)** Diferenciación con primordios de botones florales (FB1-FB4) en diferentes estados de desarrollo y el nuevo ápice vegetativo (Sekhar y Sawhney, 1984).

6.5. Conclusiones

Con base en el estudio micro morfológico llevado a cabo y la revisión bibliográfica sobre el tema del desarrollo floral del primer racimo de jitomate, en la variedad Charleston se llegó a las siguientes conclusiones:

1. El periodo de diferenciación y desarrollo de la primera inflorescencia de jitomate cultivar Charleston ocurrió entre los 20 y los 30 días después de la siembra.
2. La inflorescencia en jitomate (*Lycopersicon esculentum*) tiene su origen en el meristemo apical, por lo que para continuar el crecimiento y conformación de la estructura de la planta, la yema axilar de la última hoja que se desarrolla, retoma el crecimiento vegetativo conservando la dominancia apical.
3. El proceso inicial del desarrollo floral en cada racimo ocurre en forma basípeta y hasta donde fue posible observar microscópicamente, la flor distal siempre fue la más desarrollada. Cuando el racimo es visible este desarrollo se muestra invertido, favoreciéndose la maduración de las flores basales del racimo (forma acrópeta), probablemente por cercanía con la fuente.
4. La secuencia de aparición de los distintos órganos florales (cáliz, corola, androceo y gineceo) ocurre en forma centrípeta y su aparición es en forma verticilada, excepto en el cáliz que se da de forma alterna y en sentido de las manecillas del reloj.

7. EFECTO DEL AMBIENTE DE CRECIMIENTO SOBRE PLÁNTULAS DE JITOMATE

7.1. Introducción

La información publicada sobre las diversas formas de producción de plántulas de hortalizas, es muy escasa en el país. La mayoría de los productores las producen en charolas de poliestireno de 200 cavidades con un volumen reducido (entre 20 y 25 cm³), que se rellenan con un sustrato base de “peat moss” (turba canadiense); en cada cavidad se siembra una semilla y la plántula que se obtiene permanece en la charola de 25 a 30 días hasta su trasplante, ya sea en campo o invernadero. En los sistemas de producción a cielo abierto aun hay productores que utilizan el método tradicional de producción de plántulas en almácigos, las cuales resultan muy desuniformes y al momento de extraerlas de las camas de siembra, las raíces se maltratan y además tienen poco cepellón, reduciendo así la cantidad de plántulas que se establecen después del transplante; de esta forma, se tienen pérdidas de semilla, con la consecuente pérdida de tipo económico.

Para sistemas de producción a cielo abierto, es común que durante el período que las plántulas están en la charola, se les den tratamientos de acondicionamiento antes de su trasplante al sitio donde permanecerán el resto de su ciclo. Tal acondicionamiento consiste en someterlas a estrés nutrimental y de humedad, así como de exponerlas paulatinamente a mayores niveles de radiación solar, para que

los tejidos se vuelvan más rígidos y resistan de una mejor manera el cambio de ambiente al trasplantarlas (Liptay, 1985; Morgan, 1986). Pero cualquier estrés que las plántulas sufran durante las etapas iniciales de su desarrollo, se verá reflejado en su comportamiento subsecuente, como atrasos en su crecimiento y desarrollo (Peterson *et al.*, 1991 a y b; Weston, 1988).

Según Peterson *et al.* (1991 a y b) y Braford y Dilley (1978), el estrés causado por un espacio limitado y poco sustrato para el crecimiento de la raíz, puede ocasionar una deficiencia de oxígeno, con la consecuente reducción del tamaño de las hojas y del número de ramas; además, se induce brotación de raíces adventicias en el tallo y la muerte parcial de la raíz y puede ocurrir clorosis, epinastia e incremento de la resistencia estomática y reducción de la transpiración. La restricción del espacio también provoca un desarrollo radical corto y ramificado (Ruff *et al.*, 1987), así como un rápido llenado de la cavidad con raíces que favorece la producción de etileno y el envejecimiento prematuro de la plántula; esto ocasionará alargamiento del ciclo de cultivo (Braford y Dilley, 1978).

Para la producción de hortalizas en sistemas protegidos, también se requiere generar información sobre las metodologías de manejo más apropiadas para la producción de plántulas, ya que al producirlas en un invernadero y trasplantarlas a otro donde las condiciones son similares, no hay necesidad de acondicionarlas como en el caso del trasplante a cielo abierto. La producción de plántulas debe ser específica para cada caso y, por tanto, se debe disponer de metodologías diferentes.

El propósito principal de los sistemas de agricultura protegida, en los que generalmente se siembran híbridos, es minimizar cualquier estrés ambiental para que las variedades se manifiesten con toda su potencialidad y logren el mejor desarrollo desde el estado de plántula, para que presenten un comportamiento superior en el resto del ciclo de cultivo.

Charles-Edwards *et al.* (1986) expresan que en diversas especies vegetales se inician más meristemas reproductivos de los que realmente se desarrollan, ya que se requiere un flujo mínimo de asimilados para desarrollar un meristemo; un flujo por debajo de ese mínimo impide el desarrollo completo del meristemo y por ello se debe recurrir a prácticas que favorezcan el flujo de asimilados y se produzca el mayor número de flores. En este sentido, Picken (1984) menciona que cuando existe limitación de carbohidratos en la etapa de diferenciación floral, se afecta en mayor grado el crecimiento reproductivo que el vegetativo.

En apoyo a esto, Resh (1992) encontró que tanto el grosor del tallo como el número de flores en la primera y segunda inflorescencias de jitomate, se incrementaron con tratamientos de frío aplicados durante 10 días en la etapa de formación de las primeras hojas, lo cual atribuyeron a una mayor disponibilidad de fotoasimilados debido al bajo consumo de carbohidratos por respiración de las plantas a esa temperatura; así, los carbohidratos pueden ser aprovechados en el desarrollo de más inflorescencias. Por su parte, Morgan (1986) aplicó luz suplementaria y CO₂ a

plántulas de jitomate germinadas y desarrolladas en contenedores de diferente volumen, y así logró incrementar la materia seca, el área foliar y el número de flores, lo que atribuyó a la mayor disponibilidad de carbohidratos.

La definición de una metodología de producción de plántulas de jitomate adecuada para su trasplante en invernadero requiere estudiar y valorar prácticas que favorezcan la acumulación y distribución de carbohidratos en la etapa de desarrollo de la primera inflorescencia; entre estas prácticas se pueden mencionar:

- a) Aumentar el volumen del espacio radical y aéreo en que se desarrollan las plántulas, para que el agua y el oxígeno en la raíz sean suficientes, el crecimiento radical no tenga limitaciones espaciales, y el sombreado de las hojas sea mínimo para mayores tasas de fotosíntesis y de producción de fotoasimilados.
- b) Reducir las temperaturas nocturnas a niveles cercanos al cero biológico para que se disminuya la actividad metabólica, sobre todo la respiratoria y las reservas de carbohidratos se destinen al desarrollo de más flores.
- c) Aportar radiación suplementaria y mejorar su distribución en el perfil del dosel, combinando con densidades altas de plantas por unidad de superficie. Así se logrará que todas las hojas estén por encima del punto de compensación y que todas contribuyan a la producción de fotoasimilados.

Entender el comportamiento de estos procesos reviste importancia, sobre todo, en los casos en donde se pretende hacer un uso eficiente del espacio y del tiempo para optimizar la producción de jitomate en sistemas de agricultura protegida; al respecto, son varios los autores que reportan sistemas o paquetes tecnológicos de producción, en donde se utilizan altas densidades, combinadas con despuntes tempranos para dejar solamente una, dos, o tres inflorescencias y obtener ciclos de producción cortos con alta productividad (McAvoy *et al.*, 1989; Cancino *et al.*, 1990; Sánchez y Corona 1994; Ponce *et al.*, 2000); bajo esas circunstancias puede resultar muy ventajoso obtener en poco tiempo plántulas de mayor tamaño, más desarrolladas y con un mayor número de flores en las primeras inflorescencias, ya que con ello se puede aspirar a lograr un mayor número de frutos y por consecuencia más productividad; lo anterior se basa en que la planta de jitomate emite su primera inflorescencia después de generar entre siete y nueve hojas, para que las inflorescencias dispongan de mayor superficie foliar que les abastezca de fotoasimilados.

7.2. Objetivo

El presente estudio tuvo como objetivo: evaluar el efecto de diferentes microambientes generados por dos volúmenes de contenedor (que dan por resultado diferente espacio para la raíz y diferente espaciamiento entre plántulas en el semillero), combinados con dos niveles de temperatura nocturna y tres de luz

suplementaria aplicados al inicio de floración, sobre el número de botones florales en la primera inflorescencia, el crecimiento, desarrollo, vigor y acumulación de biomasa en la plántula.

7.3. Hipótesis

1. Los microambientes que se generan al combinar volúmenes de contenedor con niveles de temperatura nocturna y de luz suplementaria aplicados al inicio de floración, afectarán el crecimiento, vigor y acumulación de biomasa y el número de botones florales en la primera inflorescencia en plántulas de jitomate en el semillero.
2. El número de botones florales que se forman en la primera inflorescencia, es afectado por los microambientes.

7.4. Materiales y métodos

7.4.1. Lugar y fecha de realización

El presente trabajo se condujo del 28 de septiembre al 29 de octubre de 2004 en el Laboratorio de Fisiología de Frutales y en un invernadero con cubierta de cristal y control de temperatura, pertenecientes al Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo.

7.4.2. Material vegetal

Se empleó el cultivar Charleston que es producido y distribuido por la empresa Rogers, que la describe como de hábito indeterminado, con plantas de estructura abierta; con frutos redondos, lisos y carnosos de 210 a 220 g, con hombros uniformes y larga vida de anaquel, cuya maduración de frutos inicia a los 120 días aproximadamente y es resistente a los hongos *Verticillium* y *Fusarium* razas 1 y 2, y al virus del mosaico del tabaco. Además Charleston es uno de los cultivares que más se siembran en condiciones de agricultura protegida porque es una de las más rendidoras.

7.4.3. Diseño de tratamientos

Se aplicaron 12 tratamientos que resultaron de la combinación de los siguientes factores y niveles de los mismos:

- a) Ambiente de crecimiento de las plántulas con dos niveles, limitante y no limitante.
- b) Temperatura nocturna con dos niveles, 10 °C y 16 °C, por cuatro horas durante 10 días a partir de los 21 días después de la siembra (dds), ya que en este periodo se da la diferenciación de la primera inflorescencia.

- c) Luz suplementaria nocturna, con un flujo fotónico fotosintético de $175 \mu\text{mol}$ de fotones $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ con la fuente de luz ubicada a 13 cm de distancia del ápice de las plantas, con tres periodos de iluminación (0 h, 4 h y 8 h), también durante 10 días a partir de los 21 dds.

El ambiente de crecimiento limitante se refiere a un espacio restringido para el crecimiento de la raíz y de la parte aérea, que se establece al sembrar y mantener las plántulas por 31 días en charolas con 200 cavidades de 22 cm^3 de volumen (la raíz y el sustrato forman un cepellón cónico de $2.5 \times 2.5 \text{ cm}$ en la parte superior x 6 cm de profundidad y $1 \times 1 \text{ cm}$ en la parte inferior); este sistema da una densidad de $1111 \text{ plántulas/m}^2$ (Figura 9), y es el más usado en la producción de plántulas; como resultado de la alta densidad también hubo un espacio restringido en la parte aérea.



Figura 9. Charola de poliestireno utilizada para la germinación de semillas: **A)** Siembra de una semilla por cavidad, cuyo volumen es de 22 cm^3 , y **B)** Charolas con plántulas en condiciones de ser transplantadas.

El ambiente no limitante se refiere a un espacio amplio de crecimiento para la raíz y la parte aérea, al sembrar y mantener las plántulas por 31 días en contenedores con un volumen de 850 cm³ (macetas cónicas de polietileno rígido de 10.5 cm de diámetro por 12 cm de profundidad); con los contenedores colocados de manera contigua se generó una densidad de población de 90 plantas/m², y las plántulas también dispusieron de un espacio más amplio en su parte aérea (Figura 10).



Figura 10. Plántulas de jitomate en macetas de 850 cm³ en condiciones de ser transplantadas (31 dds).

En los dos ambientes se utilizó “peat moss” (turba canadiense) como sustrato para germinar las semillas y desarrollar las plántulas hasta el transplante.

Los niveles de temperatura y de luz suplementaria nocturnos se aplicaron en dos cámaras en las que se tuvo control de estos factores. Una cámara se ajustó a una

temperatura constante de 10 ± 1 °C y la otra a 16 ± 1 °C; dentro de cada cámara se hicieron divisiones para 0, 4 y 8 h de luz suplementaria; en cada caso se utilizaron tres lámparas “óptima fluorescente” (CRI 91; 5500 K) marca Duro Test que a 13 cm de distancia del ápice de las plantas emitían en promedio $175 \mu\text{mol}$ de fotones m^2s^{-1} . En cada compartimiento interno de luz suplementaria, las macetas y las charolas se colocaron sobre tarimas que sostenían una estructura de madera a la cual se fijaron las lámparas; toda la estructura se cubrió con polietileno coextruido plateado-negro, con el lado plateado hacia el interior y el negro hacia afuera (Figura 11).



Figura 11. Exposición de las plántulas a los tratamientos: **A)** Dentro de la estructura iluminada. **B)** Tratamientos de luz suplementaria dentro de una cámara

La exposición de las plántulas a los tratamientos nocturnos de temperatura y luz suplementaria se inició a las 20:00 hr, durante 10 días a partir de los 21 dds, pues de acuerdo al trabajo preliminar (Punto 6), es la edad en la que comienza la transición de la etapa vegetativa a la reproductiva (Figura 12). Las plántulas permanecieron dentro de las cámaras desde las 20:00 h de un día hasta las 8:00 h del día siguiente, momento en el que se trasladaban al invernadero donde permanecían hasta las 20:00 h cuando se volvían a colocar en las cámaras.

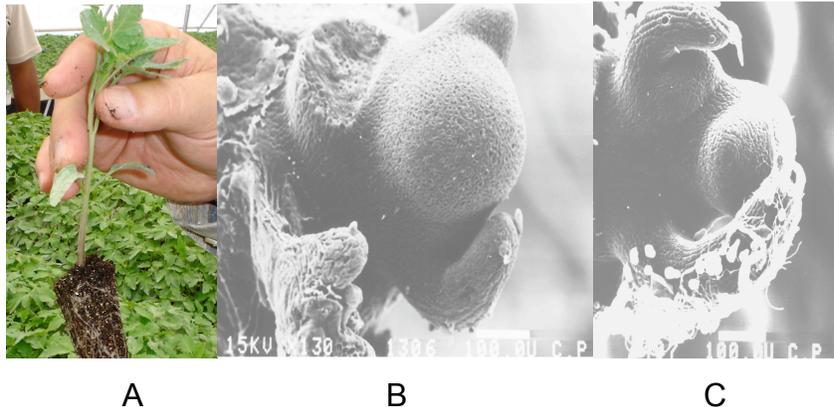


Figura 12. Tamaño de las plántulas al inicio de diferenciación y meristemo diferenciándose: **A)** Plántula al iniciar la diferenciación floral del primer racimo (20 dds), **B)** Meristemo en estado vegetativo (20 dds), y **C)** Meristemo iniciando diferenciación (22 dds).

La temperatura en el invernadero durante el día fluctuó entre 15 y 30 °C: Las plántulas se regaron manualmente con una solución preparada con las concentraciones de los elementos minerales que se señalan en el Cuadro 2 del Punto 5.

La aplicación de los tratamientos culminó a los 31 dds, día en que se realizó el transplante.

7.4.4. Variables de respuesta

a) A los 28 dds, cuando los tratamientos de temperatura y luz suplementaria tenían siete días de haberse iniciado, se cuantificaron las siguientes variables (en un promedio de cinco plantas de cada tratamiento):

Altura de planta. Medida en cm desde la superficie del sustrato hasta el ápice de la hoja más alta.

Número de hojas. Se consideró las hojas las hojas mayores de 2 cm de longitud, sin incluir los cotiledones.

Diámetro de tallo. Medido con vernier en mm en el entrenudo superior a los cotiledones

Ancho máximo de la planta. Se determinó en cm, por la suma de la longitud de las dos hojas opuestas más largas de la planta.

b) A los 31 dds, al finalizar la aplicación de los tratamientos, se cuantificaron las siguientes variables (promedio de cuatro plantas de cada tratamiento):

Materia seca de raíz y de la parte aérea. Previa deshidratación del material en estufa a 70 °C hasta peso constante registrando su peso en una balanza electrónica con una aproximación de 0.01 g.

Área foliar. Se midió en todas las hojas mayores a 2 cm de tamaño con un integrador de área LI-COR (modelo LI-3100), en cm².

Número de primordios florales en la primera y segunda inflorescencias.

Cuantificado con la ayuda de un microscopio estereoscópico, microagujas de disección y micronavajas; para tal fin se muestrearon cuatro plántulas de 31 días de edad en cada tratamiento, a las que se les removieron todas las hojas hasta encontrar el ápice y en éste se cuantificaron los primordios de flor iniciados hasta ese momento, se registró el promedio de las cuatro plantas.

La cuantificación de estas dos últimas variables se llevó a cabo con la finalidad de determinar el grado de avance en el desarrollo que las plántulas tenían en ese momento. Estos mismos caracteres se cuantificaron más adelante como número de flores en el primero y segundo racimos.

7.4.5. Diseño experimental

Los 12 tratamientos descritos se distribuyeron en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones; la unidad experimental estuvo constituida por diez plantas en las cámaras y ocho al trasplantarlas

7.4.6. Análisis de los datos

A los datos obtenidos se les aplicó un análisis de varianza y la prueba de comparación de medias de Tukey, mediante el programa Statistical Analysis System V 8 (SAS), excepto las variables número de primordios florales en la primera y

segunda inflorescencias, en las cuales solo se tomaron en cuenta sólo los promedios de 4 plántulas.

7.5. Resultados y Discusión

7.5.1. Comportamiento general de tratamientos

Los análisis de varianza (Cuadro 5) indicaron que los factores ambiente de crecimiento, temperatura nocturna y luz suplementaria, de manera individual mostraron diferencias estadísticas en casi todas las variables, con excepción del peso seco de raíz y área foliar para el factor luz suplementaria. La interacción ambiente de crecimiento x temperatura nocturna resultó significativa ($\alpha = 0.01$) en todas las variables; mientras que la interacción temperatura nocturna x luz suplementaria solo fue significativa ($\alpha = 0.01$) en altura de planta, diámetro de tallo y ancho de planta, y significativa ($\alpha = 0.05$) para número de hojas. La interacción ambiente de crecimiento x luz suplementaria no manifestó significancia estadística en ninguna de las variables consideradas. En la interacción de segundo orden ambiente de crecimiento x temperatura nocturna x luz suplementaria, sólo hubo significancia para las variables altura y ancho de planta.

Cuadro 5. Cuadrados medios y nivel de significancia en los análisis de varianza realizados en las variables medidas en las plántulas de jitomate variedad Charleston en Chapingo, Estado de México. 2004.

Fuente de variación	Cuadrados medios en las variables estudiadas						
	Altura de planta	Número de hojas	Diámetro de tallo	Ancho de planta	Peso seco de raíz	Peso seco de parte aérea	Área foliar
Ambiente de crecimiento (Ac)	301.0**	11.8**	3316.68**	1057.5**	0.115**	7.04**	367185.0**
Temperatura nocturna (Tn)	210.8**	2.0**	247.52**	211.2**	0.003*	0.40**	28988.6**
Luz suplementaria (Ls)	11.0**	0.4**	61.66**	7.9**	0.002	0.08*	1783.1
Ac x Tn	91.3**	0.8**	249.3**	98.3**	0.007**	0.49**	29950.0**
Tn x Ls	19.4**	0.2*	36.6**	14.6**	0.0006	0.03	184.8
Ac x Ls	1.5	0.0	4.6	1.7	0.00006	0.04	1903.4
Ac x Tn x Ls	3.1**	0.0	8.5	6.9**	0.0002	0.02	255.2
Coef. de variación (%)	4.1	5.7	7.7	5.1	24.25	22.7	23.6

**Significativo a ($\alpha=0.01$)

*Significativo a ($\alpha=0.01$)

7.5.2. Interacción ambiente de crecimiento x temperatura

En todas las variables se observó que en ambas temperaturas nocturnas (10 y 16 °C), el ambiente no limitante superó al limitante en la expresión de todas las variables estudiadas (Cuadro 6).

A 10 °C, hubo superioridad del ambiente no limitante en, altura de planta, número de hojas, diámetro de tallo, ancho de planta, peso seco de raíz, peso seco de la parte aérea y área foliar de: 13 %, 22 %, 68 %, 44 %, 133 %, 271 % y 223 % respectivamente, respecto al limitante. A 16 °C, las ventajas del ambiente no limitante respecto al limitante fueron de: 40 %, 18 %, 120 %, 75 %, 260 %, 485 %, y 408 % en las mismas variables respectivamente.

En el ambiente limitante la temperatura nocturna de 10 °C fue significativamente inferior a la de y 16 °C sólo en altura y ancho de planta, en cambio, en el ambiente no limitante en todos los caracteres la temperatura de 16 °C superó a la de 10 °C.

Cuadro 6. Comparación de medias para la interacción ambiente de crecimiento x temperatura nocturna en plántulas de jitomate variedad Charleston en Chapingo, Estado de México. 2004.

Ambiente	Temperatura (°C)	Altura (cm)	No. de hojas	Diámetro de tallo (mm)	Ancho de planta (cm)	Peso seco de raíz (g)	Peso seco de parte aérea (g)	Área foliar (cm ²)
No limitante	16	27.0 a ^z	4.7 a	3.8 a	28.5 a	0.1 a	1.1 a	280 a
No limitante	10	20.0 b	4.0 b	2.9 b	21.5 b	0.1 b	0.7 b	180 b
Limitante	16	19.2 c	3.4 c	1.7 c	16.3 c	0.0 c	0.2 c	55 c
Limitante	10	17.8 d	3.3 c	1.7 c	15.0 d	0.0 c	0.2 c	55 c
DMSH		0.7	0.1	0.1	0.8	0.0	0.1	28

^zValores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$)

Con base en los resultados anteriores se puede señalar que el factor que mayor influencia tuvo sobre los caracteres estudiados fue el ambiente de crecimiento para las raíces y la parte aérea de la plántula en donde los espacios no fueron restringidos, pero sólo si este se combina con la temperatura de 16 °C el metabolismo se puede dar de manera constante; ya que cuando el espacio es restringido para la parte radical y aérea de la plántula y se combina con este mismo nivel de temperatura (16 °C), la temperatura deja de tener efecto sobre los caracteres evaluados.

Al respecto, nótese que en el ambiente no limitante las plantas acumularon de 4 a 5 veces más biomasa en la parte aérea (PA) y de 2 a 3.5 veces más biomasa en la

parte radical (PR), respecto al ambiente limitante (Cuadro 7). Esto expresado en términos de relación PA/PR, significa que las plantas vigorosas aumentan dicha relación en 2 a 2.5 unidades.

Cuadro 7. Relación peso seco de la parte aérea/peso seco de la parte radical en la interacción ambiente de crecimiento x temperatura en plántulas de jitomate variedad Charleston en Chapingo, Estado de México. 2004.

Temp. Nocturna (°C)	Ambiente limitante, peso seco (g)			Ambiente no limitante, peso seco (g)		
	PA	PR	PA/PR	PA	PR	PA/PR
16	0.20	0.05	4.00	1.17	0.18	6.5
10	0.21	0.06	3.50	0.78	0.14	5.57

PA = Peso seco aereo, PR = Peso seco radical

En los dos niveles de temperatura nocturna aplicados en el presente estudio, uno de 10 °C, cercano al cero biológico del jitomate (Picken *et al*, 1986), y otro de 16 °C, que es la temperatura que generalmente se maneja en la mayoría de los invernaderos utilizados para semillero, se tuvieron efectos marcados sobre todos los caracteres estudiados, principalmente al combinar el nivel más alto de temperatura nocturna con el ambiente no limitante; lo anterior concuerda en parte con lo observado por Wien (1997), quien refiere que cuando las plántulas de jitomate son germinadas y desarrolladas en espacios amplios para la raíz y la parte aérea, alcanzan mayores tasas de acumulación de biomasa.

Similarmente Hoek *et al.* (1993) probaron temperaturas de 12 °C, 15 °C y 18 °C en plántulas de jitomate y encontraron que las bajas temperaturas restringieron el crecimiento vegetativo y facilitaron la formación de hojas más gruesas aunque esto

no fue debido a la inhibición de la fotosíntesis sino a la reducción de las tasas de división celular; estos mismos autores compraron plantas cultivadas de 40 días a 18 °C, con cultivadas a 12 °C, y las de 18 °C resultaron más precoces con mayor tasa relativa de crecimiento, con hojas casi dos veces más delgadas y área foliar cinco veces mayor.

Por su parte Weston (1988) produjo plántulas en contenedores de distintos volúmenes (desde 5.6 hasta 39.5 cm³) para así provocar diferentes ambientes para la raíz, encontró diferencias significativas en altura de planta, área foliar, materia seca en parte aérea y en contenido de nitrógeno total, a favor de los contenedores de mayor volumen. Tales diferencias se mantuvieron a lo largo del ciclo de cultivo y obtuvo 37 % más rendimiento en las plantas provenientes del contenedor de mayor volumen respecto al más pequeño.

Los resultados anteriores, relacionados con la interacción ambiente de crecimiento x temperatura, se atribuyen en parte a que en la rizosfera el abastecimiento de oxígeno, nutrimentos y agua es limitado en espacios reducidos, lo que da lugar a una raíz pequeña y probablemente con menor producción de citocininas, pero con más etileno, como lo reporta Peterson *et al.* (1991a y b) para plantas de jitomate de 46 días; lo anterior también ocasiona reducción de crecimiento de la parte aérea por la alta densidad las plantas y porque interceptan menos radiación por individuo y la que penetra en el dosel es más rica en rojo lejano comparado con plantas más espaciadas, de esta forma se provocan síntomas de etiolación. Este mismo autor

reporta además que en contenedores reducidos las raíces del jitomate también redujeron su respiración hasta 10 veces en comparación con plántulas que crecieron en contenedores grandes; además, el peso seco radical fue mayor tres a cuatro veces en esta última condición.

7.5.3. Interacción temperatura nocturna x luz suplementaria

La aplicación de la temperatura nocturna de 16 °C por 10 días combinada con luz suplementaria de 4 u 8 horas por día a plántulas de jitomate de 21 días de edad, produjo plántulas más vigorosas ($\alpha = 0.05$) en altura de planta, número de hojas, diámetro de tallo y ancho de planta, medidos a los 28 dds, en comparación con los demás tratamientos (Cuadro 8). En algunas variables como altura y ancho de planta, la temperatura de 16 °C también superó a la de 10 °C, aún en ausencia de luz suplementaria. A 10 °C, en cambio, no hubo efecto significativo entre aplicar y no aplicar luz suplementaria.

Cuadro 8. Comparación de medias para la interacción temperatura nocturna x luz suplementaria en plántulas de jitomate variedad Charleston en Chapingo, Estado de México. 2004.

Temperatura (°C)	Luz suplementaria (h)	Altura de planta (cm)	No. de hojas	Diámetro de tallo (cm)	Ancho de planta (cm)
16	8	24.6 a ²	4.1 a	3.0 a	23.6 a
16	4	23.7 a	4.3 a	2.9 a	23.0 a
16	0	20.9 b	3.7 b	2.4 b	20.6 b
10	8	18.7 c	3.7 b	2.4 b	17.6 c
10	4	18.8 c	3.6 b	2.2 b	18.6 c
10	0	19.2 c	3.6 b	2.3 b	18.4 c
DMSH		1.0	0.2	0.2	1.2

²Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$)

Al incrementar el periodo fotosintético con luz suplementaria, aunque éste periodo sea de menor irradiancia, las pérdidas por respiración deben ser menores debido a que los gastos por mantenimiento se reducen por lo corto de las noches; además, con un periodo fotosintético largo se pueden lograr beneficios como: mayor altura de planta, más cantidad de hojas, tallos más gruesos y plantas más anchas; estos resultados concuerdan en parte con los Grimstad (1987), Morgan (1986) y Hurd (1973), quienes aplicando luz suplementaria en plántulas jitomate reportan mayor contenido de clorofila por unidad de área, mayor altura de planta al transplante, más biomasa, mayor número de flores y adelanto en el crecimiento y desarrollo.

7.5.4. Estado de desarrollo al transplante

Al momento del transplante (31 dds) las plantas de jitomate en el ambiente limitante habían desarrollado de 3 a 4.7 primordios de botones florales en el primer racimo, y ningún primordio en el segundo (Cuadro 9). En el ambiente no limitante, con mayor espaciamiento radical y aéreo, las plántulas diferenciaron de 4.25 a 6.25 primordios de botones en el primer racimo y de 2 a 3 en el segundo racimo, para un rango de 7.3 a 9.25 primordios por planta. Es decir, el mayor espaciamiento para raíz y parte aérea provocó una notoria ganancia, promedio de 60 % en el desarrollo de botones florales debidos en gran medida al adelanto del desarrollo reproductivo.

Cuadro 9. Número de primordios de botones florales observados en las plántulas de jitomate variedad Charleston al momento del transplante. Chapingo, Estado de México. 2004.

Tratamiento	Primer racimo	Segundo racimo	Total
Limitante, 10 °C, 0 horas	4.25	0.0	4.25
Limitante, 10 °C, 4 horas	4.25	0.0	4.25
Limitante, 10 °C, 8 horas	4.75	0.0	4.75
Limitante, 16 °C, 0 horas	3.00	0.0	3.00
Limitante, 16 °C, 4 horas	4.00	0.0	4.00
Limitante, 16 °C, 8 horas	4.00	0.0	4.00
No limitante, 10 °C, 0 horas	4.25	3.0	7.25
No limitante, 10 °C, 4 horas	4.75	2.8	7.55
No limitante, 10 °C, 8 horas	5.50	3.0	8.50
No limitante, 16 °C, 0 horas	5.75	3.0	8.75
No limitante, 16 °C, 4 horas	6.25	3.0	9.25
No limitante, 16 °C, 8 horas	5.33	2.0	7.33

En la Figura 13A se presentan los tallos que se obtuvieron de la cuantificación de primordios florales en el microscopio estereoscópico provenientes del ambiente no limitante (Mac), y en el mismo sentido en la Figura 13B se presentan los provenientes del ambiente limitante (Ch); En el ambiente no limitante, los tallos fueron más grandes que en ambiente limitante y en ambos ambientes se confirma que los tallos provenientes de la temperatura de 16 °C fueron más altos que los de 10 °C.



10 °C y 16 °C = Niveles de temperatura. 4h, 8h y SL (sin luz) = Niveles de luz suplementaria en horas

A



10 °C y 16 °C = Niveles de temperatura. 4h, 8h y SL (sin luz) = Niveles de luz suplementaria en horas.

B

Figura 13. Crecimiento, desarrollo y aspecto del tallo de plántulas de jitomate al trasplante. **A)** Ambiente de crecimiento no limitante (Mac), y **B)** Ambiente de crecimiento limitante (Ch).

Tomando en cuenta las fotografías y anotaciones en el libro de campo sobre las observaciones del desarrollo al momento del trasplante, se categorizó el grado de crecimiento del tallo de mayor a menor (Cuadro 10); con base en esto, primero se observaron dos grandes grupos: el proveniente del ambiente no limitante mayor que

el del ambiente limitante; dentro de cada uno se consideraron variantes de acuerdo a la temperatura, resultando 16 °C mayor que 10 °C; también dentro de cada temperatura los niveles de luz suplementaria variaron, resultando 8 h mayor que 4 h y este a su vez mayor que 0 h en la temperatura de 16 °C; en la temperatura de 10 °C y ambiente no limitante 4 h fue mayor que 0 h y este a su vez mayor que 8 h y en la misma temperatura pero en ambiente limitante, 0 h fue mayor que 4 h y este a su vez mayor que 8 h.

Cuadro 10. Crecimiento del tallo en plántulas de jitomate variedad Charleston al trasplante en orden descendente y de acuerdo a cada tratamiento. Chapingo, Estado de México. 2004.

Ambiente	Temperatura	Luz suplementaria
No limitante	16 °C	8 horas
		4 horas
		0 horas
	10 °C	0 horas
		4 horas
		8 horas
Limitante	16 °C	8 horas
		4 horas
		0 horas
	10 °C	0 horas
		4 horas
		8 horas

7.6. Conclusiones

De acuerdo con las condiciones en las que se desarrolló el presente estudio y los resultados obtenidos, se llegó a las siguientes conclusiones:

1. El mayor crecimiento, desarrollo, vigor, acumulación de materia seca y primordios de botones florales se logró en un ambiente en donde se cultivaron plántulas de jitomate por 31 días en contenedores de 850 cm³ a una densidad 90 plantas/m²; En este mismo ambiente el crecimiento y desarrollo se mejoraron con la temperatura de 16 °C.
2. La aplicación de temperatura nocturna de 16 °C por 10 días en plántulas de jitomate, provocó incrementos en crecimiento, desarrollo, vigor y número de botones florales; el efecto fue mayor cuando se combinó con la aplicación de luz suplementaria (175 μmoles de fotones m⁻² s⁻¹), por 4 u 8 horas.

8. EFECTO DEL AMBIENTE DE CRECIMIENTO APLICADO A PLÁNTULAS DE JITOMATE SOBRE SU COMPORTAMIENTO POSTERIOR AL TRASPLANTE

8.1. Introducción

En México la totalidad de la producción de plántulas de hortalizas se maneja a densidades muy altas (1111 plántulas/m²), y para tal fin se utilizan charolas con cavidades muy pequeñas (25 cm³). Hay reportes que señalan que la aplicación de bajas temperaturas y de luz suplementaria en dicho estado de desarrollo pueden inducir un número mayor de flores en la primera y segunda inflorescencias; también se indica que el espacio tanto radical como aéreo en el que se desarrollan las plantas durante sus primeras etapas de crecimiento (plántulas), repercute en su comportamiento subsecuente al trasplante, sobre todo en el rendimiento (Wien 1997; Morgan, 1986).

Al respecto, Ruff *et al.* (1987) reportaron que al trasplantar plántulas de jitomate de 17 días de edad a contenedores de 450 y 13,500 cm³, las plántulas crecidas en el contenedor de mayor volumen, resultaron superiores en características como altura de planta, número de nudos, área foliar, peso seco y relación peso seco de raíz/peso seco de tallo; también tuvieron un periodo más corto para llegar a antesis y el peso fresco de fruto fue mayor. Este comportamiento fue atribuido a que cuando estuvieron en un mayor volumen para las raíces, éstas suministraron más agua y nutrimentos a la parte aérea que cuando crecieron en contenedores pequeños. De la

misma manera Şirin y Sevgican (1999) reportaron que la planta logró mayor altura y rendimiento (incrementos de hasta 11 %) en un contenedor de 16 L que en uno de 8 L. También Weston (1988) trabajó con plántulas de pimiento crecidas en contenedores de diversos volúmenes (desde los 5.6 hasta los 39.5 cm³) y trasplantadas desde los 30 a los 60 dds y encontró que las plántulas que crecieron en celdas de 39.5 cm³ produjeron 37 % más rendimiento temprano (adelanto en dos semanas) que las crecidas en celdas de 5.6 cm³.

Desde hace casi 50 años, Wittwer y Teubner (1956) encontraron que en estado de plántula las bajas temperaturas (10 a 13 °C) incrementaron la productividad del jitomate. También con bajas temperaturas Melton y Dufault (1991) lograron reducir la altura de la planta, incrementar el diámetro del tallo, el número de hojas, el área foliar y el contenido de clorofila. Liptay *et al.* (1985) observaron que el diámetro del tallo está directamente relacionado con el rendimiento. Resh (1992) recomendó aplicar temperaturas nocturnas bajas (entre 11 °C y 13 °C) a las plántulas de jitomate desde que aparecen los cotiledones hasta que se desdoblán completamente las dos primeras hojas, para que desarrollen tallos gruesos, dupliquen el número de flores en el primer racimo, e incluso en el segundo, y se logre una cosecha temprana y total más altas. Hoek *et al.* (1993) concuerdan con estas propuestas y mencionan que las bajas temperaturas restringen el crecimiento vegetativo y la formación de hojas gruesas lo que posteriormente se refleja en tasas relativas de crecimiento foliar y total bajas.

Por su parte, Morgan (1986) estableció que la aplicación de luz suplementaria, combinada con CO₂ y edad al trasplante (sin especificar los niveles de cada factor), a plántulas de jitomate, tuvieron efectos de importancia que persistieron a lo largo del ciclo del cultivo; con luz suplementaria este autor incrementó el peso seco y la altura de la planta al trasplante, adelantó la ocurrencia de antesis en 16 días y aumentó el rendimiento precoz; También Masson *et al.* (1991) encontraron que aplicando luz suplementaria en combinación con nitrógeno en estado de plántula, se pueden aumentar el diámetro de fruto y el rendimiento comercial del jitomate; en cambio, con la aplicación únicamente de nitrógeno el efecto observado fue solamente el adelanto de la cosecha.

En el presente estudio (Punto 7), al evaluar el efecto de 12 tratamientos resultantes de la combinación de dos ambientes de crecimiento (22 y 850 cm³ de contenedor, con espaciamiento a 1111 y 90 plantas/m² respectivamente), dos temperaturas nocturnas (10 y 16 °C) aplicadas de los 21 a los 31 dds, y tres niveles de aplicación de luz suplementaria de 175 μmoles de fotones m⁻² s⁻¹ (0, 4 y 8 h), también aplicados de los 21 a los 31 dds en plántulas de jitomate, se encontró que con un volumen de sustrato por planta de 850 cm³ (el cual también amplía el espaciamiento aéreo) se obtuvieron los mejores resultados en la expresión de las variables estudiadas, en relación con el uso de un volumen pequeño de sustrato (22 cm³) y alta densidad de población (1111 plántulas/m²); a diferencia de otros autores, aquí se encontró que una temperatura nocturna de 16 °C, fue significativamente superior a una de 10 °C

en cuanto a crecimiento, desarrollo, vigor y número de botones florales en el primer racimo, sobre todo cuando se combinó con luz suplementaria por 4 u 8 horas.

Es decir, con la aplicación de 16 °C de temperatura nocturna y luz suplementaria durante 10 días y de 31 días de crecimiento en el ambiente favorable, se logró aumentar el crecimiento de la plántula y acelerar la diferenciación y desarrollo de botones florales en los dos primeros racimos, en plántulas al momento del trasplante. Por ello se consideró necesario cuantificar la respuesta a tales tratamientos a partir del trasplante y en el resto del ciclo de cultivo, para así definir la mejor forma de manejo para la producción de plántulas, de modo que éstas alcancen la máxima expresión de sus caracteres en el invernadero después del trasplante, sobre todo en número de flores y frutos, y en consecuencia, en rendimiento.

Con base en lo anterior, el presente trabajo tuvo el siguiente objetivo:

8.2. Objetivo

Evaluar en condiciones de invernadero y manejo hidropónico el efecto subsecuente al transplante sobre la floración, crecimiento, desarrollo, vigor, acumulación de biomasa, precocidad, número de frutos y rendimiento total, en plántulas de jitomate previamente crecidas en microambientes generados por dos volúmenes de contenedor (que dan por resultado diferente espacio para la raíz y diferente espaciamiento entre plántulas en el semillero), combinados con dos niveles de temperatura nocturna y tres de luz suplementaria.

8.3. Hipótesis

El mayor espacio radical y aéreo, combinado con la exposición de las plántulas a una temperatura nocturna de 16 °C y de luz suplementaria durante el periodo de tiempo en que ocurre la diferenciación y la etapa temprana del desarrollo floral en el primer racimo, producirá una mayor cantidad de flores en el mismo, acelerará el desarrollo general de la planta y permitirá la acumulación de más biomasa, lo que se reflejará en un adelanto de la cosecha, en un mayor número de frutos y mayor rendimiento.

8.4. Materiales y métodos

8.4.1. Lugar y fecha de realización

El presente trabajo se condujo del 29 de octubre de 2004 al 10 de marzo de 2005 en un invernadero con cubierta de cristal y control de temperatura del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo.

8.4.2. Material vegetal empleado

Se utilizó la variedad Charleston, cuyo origen y características se describieron previamente en el Punto 7.4., los tratamientos que se aplicaron a las plántulas también se describen en ese mismo punto.

Las plántulas se transplantaron el 29 de octubre de 2004, 31 días después de la siembra, a tinas hidropónicas de 1 m de ancho, 6.5 m de largo y 0.3 m de profundidad, que contenían arena de tezontle rojo con partículas menores a 4 mm de diámetro; la densidad de población fue de 16 plantas/m², con plantas ubicadas a 25 cm entre plantas y 25 cm entre hileras. Al transplante las plantas se enterraron hasta los cotiledones; una vez que emitieron el primer racimo floral, se les removió el ápice para dejar tres hojas encima de la primera inflorescencia, y así obtener plantas de un solo racimo; también se les eliminaron todos los brotes laterales que produjeron durante el ciclo.

8.4.3. Diseño experimental

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con 12 tratamientos y cuatro repeticiones, en el que se ubicaron los 12 tratamientos mencionados del estudio anterior; la unidad experimental estuvo constituida por ocho plantas y la de muestreo varió de acuerdo con cada variable estudiada.

Dentro del periodo en que se hizo el experimento, las temperaturas máximas internas del invernadero oscilaron entre 23 °C y 36 °C y se presentaron entre las 14:00 y las 15:00 horas, y las mínimas variaron entre 4 °C y 14 °C y ocurrieron alrededor de las 7:00 horas.

Las plantas se regaron diariamente con una solución nutritiva vertida a través de un sistema de riego por goteo con los siguientes elementos minerales y concentraciones en mg L⁻¹: N = 173, P = 60, K = 200, Ca = 250, Mg=55, S=150, Fe=5, Mn=3, Cu=1, B=0.5 y Zn=0.5 (modificada de Ucan *et al.*, 2005).

8.4.4. Variables respuesta

Días a inicio de antesis. Se registró cuando ocurrió la antesis de la primera flor en alguna de las ocho plantas de la unidad experimental (entre los 13 y los 27 días después del trasplante).

Número de flores en el primer racimo, número de flores en el segundo racimo y número total de flores. Se cuantificaron en cada una de las ocho plantas de la parcela, a los 24 días después del trasplante; se manejaron como el total de flores de las ocho plantas en los análisis estadísticos.

Número de fitómeros. Se contó el número de nudos de la planta, desde el de los cotiledones hasta el anterior al de la inserción de la inflorescencia, en las ocho plantas de la unidad experimental, se calculó el promedio por planta para en manejo en los análisis estadísticos. En las plantas que crecieron en el semillero en un ambiente no limitante, el conteo se realizó 15 días después del trasplante y en las del ambiente limitante, el conteo se realizó 40 días después del trasplante, debido a

que en el ambiente no limitante la primera inflorescencia se manifestó más temprano.

Diámetro de tallo. Se midió a los 40 días después del trasplante, debajo de la inserción del racimo floral en cada una de las 8 plantas de la unidad experimental y luego se calculo el promedio.

Altura de planta. Se midió en cm desde el nudo de los cotiledones (superficie del sustrato) hasta el ápice de la hoja más alta, en las ocho plantas de la parcela y luego se calculó y usó el promedio para los análisis estadísticos; la fecha de medición fue la misma que la anterior.

Número de frutos por parcela. Se contabilizó a los 131 días después del trasplante al finalizar la cosecha, mediante la suma de todos los frutos obtenidos.

Peso medio de fruto. Se calculó al dividir el peso total de los frutos de cada parcela entre el número de frutos de la misma.

Porcentaje de cuajado de fruto. Se calculó al dividir el número de frutos entre el número de flores por parcela, multiplicado por 100.

Biomasa de raíz, tallo, pedúnculo y hoja. Se obtuvo una muestra de cuatro plantas por tratamiento, se separaron los diferentes órganos y se deshidrataron en

una estufa a 60 °C hasta peso constante. Luego se pesaron en una balanza electrónica con una aproximación de 0.01 g, esto ocurrió a los 132 días después del trasplante (10 de marzo de 2005).

Peso seco de fruto. Se estimó como el 3.3 % del peso fresco del fruto en una muestra de cuatro plantas, según reportó Sánchez (1994).

Peso seco total. Se calculó mediante la suma de los pesos secos de raíz, tallo pedúnculo, hoja y fruto en una muestra de cuatro plantas.

Área foliar. Se estimó midiéndola en dos plantas de cada tratamiento, con un integrador de área LI-COR (modelo LI-3100). Esta variable y la de biomasa de hoja permitió la relación entre ambas; el cociente resultante se aplicó para calcular al área de una muestra de cuatro hojas, de las cuales solo se tenía el peso seco, la medición se hizo a los 132 días después del trasplante.

Índice de área foliar. Se calculó al dividir el área foliar por planta entre el área de invernadero ocupada por la misma; con datos tomados a los 132 días después del trasplante.

Rendimiento temprano. Se consideró así al peso total de frutos (en g) de los tres primeros cortes; el primer corte se dio a los 88 días y el tercero a los 102 días después del trasplante.

Rendimiento total. Se calculó mediante la suma del peso total de frutos (en g) de los seis cortes que se hicieron; el último corte se llevó a cabo a los 131 días después del trasplante.

Índice de cosecha. Se calculó mediante el cociente de biomasa de fruto entre la biomasa total por planta.

Eficiencia del área foliar para la formación de frutos. Se calculó mediante el cociente del peso seco de fruto entre el área foliar por planta, indica la cantidad de área foliar que se requiere para formar 1 g de materia seca de fruto.

8.4.5. Análisis de los datos

A los datos obtenidos se les aplicó análisis de varianza y la prueba de comparación de medias de Tukey, mediante el Statistical Analysis System V 8 (SAS).

8.5. Resultados y discusión

8.5.1. Variables reproductivas

Los análisis de varianza de las variables reproductivas mostraron que el factor ambiente de crecimiento, de manera individual, afectó en forma altamente

significante ($\alpha = 0.01$) a todas las variables, excepto al índice de cosecha que se vio afectado en forma sólo significativa ($\alpha = 0.05$), mientras que el % de cuajado de frutos no se vio afectado; por su parte la temperatura nocturna, también como factor individual afectó de manera significativa ($\alpha = 0.05$) al número total de flores, al rendimiento temprano y al rendimiento total (Cuadro11); la luz suplementaria no afectó a ninguno de los caracteres evaluados. La interacción ambiente de crecimiento x temperatura resultó altamente significativa ($\alpha = 0.01$) para días a antesis, número de flores del primer racimo, número de flores del segundo racimo y número total de flores; mientras que la interacción temperatura nocturna x luz suplementaria fue significativa ($\alpha = 0.05$) en el caso de número de flores del primer racimo y frutos por parcela y altamente significativa ($\alpha = 0.01$) para número total de flores. Las demás interacciones no tuvieron efecto en estas variables.

Cuadro 11. Cuadros medios y nivel de significancia de los análisis de varianza aplicados a las variables reproductivas en jitomate variedad Charleston en Chapingo, Estado de México. 2005.

Fuente de Variación	Cuadros medios en las variables estudiadas									
	Días a inicio de antesis	No. de flores 1er. racimo	No. de flores 2º. racimo	No. de flores	No. total de flores	Frutos por parcela	Peso medio de fruto	% de cuajado	Rendimiento temprano	Rendimiento total.
Ambiente de crecimiento (Ac)	1552.6**	667.5**	841.6**	3008.3**	546.7**	5898.1**	30.0	122731830**	35090243**	0.01*
Temperatura nocturna (Tn)	0.02	123.5	7.5	192.0*	36.7	288.2	20.8	4358250*	2701333*	0.004
Luz suplementaria (Ls)	0.3	58.7	1.3	48.8	26.6	5.2	53.8	305560	302283	0.001
Ac x Tn	25.5**	557.5**	188.0**	1064.0**	9.7	38.8	150.0	2326610	774367	0.0005
Tn x Ls	0.1	142.5*	39.3	328.9**	130.1*	93.8	16.4	72389	1168784	0.005
Ac x Ls	0.8	66.2	13.1	115.0	64.1	340.2	51.0	29151	118341	0.0009
Ac x Tn x Ls	1.8	14.7	6.2	35.1	26.0	221.6	61.5	1392340	1453312	0.0007
Coef. de variación (%)	1.8	12.4	8.5	7.2	13.1	13.1	8.1	39.5	14.9	9.25

**Altamente significativo ($\alpha=0.01$)

*Significativo ($\alpha=0.05$)

Las medias de las variables en el ambiente de crecimiento no limitante superaron en todos los casos ($\alpha = 0.05$) a las que se obtuvieron en el ambiente limitante; así, en el ambiente favorable las plantas llegaron a antesis 11 días antes, tuvieron 9 flores y 7 frutos más por parcela en el primer racimo, los frutos fueron 23 g más pesados, los rendimientos temprano (tres primeros cortes) y total fueron superiores en 3.20 y 1.71 kg por parcela, respectivamente (Cuadro 12).

Es decir, las plantas crecidas en un ambiente favorable antes del trasplante resultaron más precoces y más productivas en el resto del ciclo, lo que evidencia que las condiciones ambientales previas al trasplante producen mejoras en órganos reproductores que repercuten al final del ciclo, sobre todo en el rendimiento final del fruto.

Cuadro 12. Comparación de medias en caracteres reproductivos para el ambiente de crecimiento en plantas de jitomate variedad Charleston en Chapingo, Estado de México. 2005.

Ambiente de crecimiento	Días a antesis	No. de flores 1er. racimo	No. de flores 2o. racimo	No. total de flores	Frutos por parcela	Peso medio de fruto (g)	Rend. temprano (g)	Rend. total (g)	Índice de cosecha
Limitante	56.4 a ²	48.1 b	41.0 b	84.8 b	40.3 b	105.7 b	353.3 b	4273.1 b	0.49 b
No limitante	45.0 b	57.3 a	49.4 a	100.7 a	47.1 a	127.9 a	3551.5 a	5983.2 a	0.52 a
DMSH	0.5	4.6	2.2	3.9	3.3	9.0	453.3	449.9	0.02

²Valores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$)

Estos resultados concuerdan con los encontrados por Ruff *et al.* (1987), Hameed *et al.* (1987), Weston (1988), Peterson *et al.* (1991 a y b); quienes enfatizaron la importancia de cultivar plántulas de jitomate en contenedores de tamaño amplio para lograr un buen desarrollo de la raíz y de la planta completa.

La temperatura nocturna como factor individual produjo efectos significantes ($\alpha = 0.05$) en el número total de flores, el rendimiento temprano y el rendimiento total, ya que con la aplicación de 16 °C durante 10 días en el estado de plántula, se logró que al final del ciclo las plantas incrementaran en 602 y 484 g el rendimiento temprano y total por parcela respectivamente, en comparación con la temperatura de 10 °C (Cuadro 13). Apparently, la temperatura nocturna baja, redujo el metabolismo y con ello el número de flores totales y el rendimiento.

Cuadro 13. Comparación de medias en caracteres reproductivos para temperatura nocturna en plantas de jitomate variedad Charleston en Chapingo, Estado de México. 2005.

Temperatura nocturna (°C)	No. total de flores	Rendimiento temprano (g)	Rendimiento total (g)
10	90.79 b	1651.0 b ^z	4890.9 b
16	94.79 a	2253.7 a	5375.4 a
DMSH	3.93	453.3	449.9

^zValores con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$)

En contraste, Melton y Dufault (1991) encontraron que la aplicación de temperaturas de 2 °C por ocho días no tuvo influencia sobre el rendimiento, quizá por ser muy bajas; por otra parte Hoek *et al.* (1993), al estudiar las respuestas anatómicas y morfológicas del jitomate hasta la séptima hoja (similar al número de fitómeros que se desarrollaron al momento de la iniciación de la primera inflorescencia en el presente trabajo) y aplicando temperaturas nocturnas de 12, 15 y 18 °C, encontraron que a 12 °C hubo una tasa muy baja de división celular, las hojas fueron el doble de gruesas, las células epidérmicas y de parénquima se expandieron más, el área foliar

se redujo cinco veces, las células fueron en todos los casos mas grandes y el área celular, al hacer un corte transversal de la epidermis y del parénquima, fue de 1.5 a 2 veces mayor que en la temperatura de 16 °C.

La interacción ambiente de crecimiento x temperatura nocturna fue significativa ($\alpha = 0.05$) porque en el ambiente no limitante la temperatura de 16 °C indujo la diferenciación y desarrollo de mayor número de flores en los dos primeros racimos, aumentando el número total de flores y provocando el adelanto de la antesis en comparación con la temperatura de 10 °C; mientras que en el ambiente limitante la temperatura de 10 °C fue superior a la de 16 °C en cuanto al adelanto de la antesis únicamente, pero no tuvo ningún efecto sobre floración (Cuadro 14).

Cuadro 14. Comparación de medias en caracteres reproductivos para la interacción ambiente de crecimiento x temperatura nocturna en plantas de jitomate variedad Charleston en Chapingo, Estado de México. 2005.

Ambiente	Temperatura nocturna (°C)	Días a antesis	No. de flores 1er. racimo	No. de flores 2o. racimo	No. total de flores
No limitante	16	44.33 d ^z	61.50 a	51.83 a	107.41 a
No limitante	10	45.83 c	53.16 b	47.08 b	94.00 b
Limitante	16	57.17 a	47.16 b	39.50 c	82.16 c
Limitante	10	55.75 b	49.08 b	42.66 c	87.58 c
DMSH		0.77	6.63	3.22	5.56

^zValores con la misma letra dentro de columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$)

La interacción temperatura nocturna x luz suplementaria resultó significativa estadísticamente para las variables número de flores del primer racimo, número total de flores y frutos por parcela; en este caso, la luz suplementaria en combinación con

16 °C mejoró las características mencionadas, mientras que cuando la luz suplementaria se combinó con 10 °C, se redujeron el número de flores del primer racimo y totales así como el número de frutos por parcela (Cuadro 15).

Es decir, se puede aumentar el número de flores desarrolladas en el primer racimo y, por ende, el número total mediante aplicación de luz suplementaria en combinación con una temperatura nocturna de 16 °C. En contraste, en las plantas con luz suplementaria crecidas a temperatura nocturna de 10 °C, el número de frutos por parcela disminuyó con la aplicación de luz suplementaria por un periodo prolongado (8 h), mientras que no se manifestaron diferencias importantes en la aplicación de 4 h y el testigo (0 h).

Cuadro 15. Comparación de medias en caracteres reproductivos para la interacción temperatura nocturna x luz suplementaria en plantas de jitomate variedad Charleston en Chapingo, Estado de México. 2005.

Temperatura (°C)	Luz suplementaria (h)	No. de flores 1er. racimo	No. total de flores	Frutos por parcela
16	8	59.0 a	100.7 a	47.6 a
16	4	55.7 ab	95.2 ab	45.1 ab
16	0	48.2 b	88.3 b	41.1 ab
10	8	47.6 b	87.5 b	39.5 b
10	4	53.8 ab	91.6 b	45.1 ab
10	0	51.8 ab	93.2 ab	44.0 ab
DMSH		9.79	8.2	7.0

^aValores con la misma letra dentro de columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$)

Al respecto Charles-Edwards *et al.* (1986) reporta que la luz suplementaria permite producir mayor cantidad de carbohidratos y esto se facilita con un rango de

temperatura entre 10 y 16 °C. También Morgan (1986) reportó efectos positivos de la aplicación de luz suplementaria sobre caracteres como altura de planta, días a antesis, área foliar y acumulación de biomasa. De igual modo, Grimstad (1987) observó mayor número de frutos y de mayor tamaño, con la aplicación de luz suplementaria. Por otra parte, con un periodo fotosintético más largo, se puede también aumentar la concentración de la clorofila, la altura de planta al transplante, la biomasa generada, el número de flores y frutos y adelantar el desarrollo de las plantas según lo han reportado diferentes autores (Grimstad, 1987; Morgan, 1986; Hurd, 1973).

Estos resultados demuestran que es posible lograr efectos benéficos con la aplicación de luz suplementaria en jitomate en estado de plántula, si esta se combina con una temperatura nocturna de 16 °C. Tal vez si se ampliara el periodo de aplicación de luz más allá de los 10 días, se podría tener mejor respuesta en etapas posteriores al trasplante.

8.5.2. Variables vegetativas y de biomasa

Al igual que ocurrió en las variables reproductivas, el ambiente de crecimiento no limitante produjo la mayor expresión de vigor de las plantas en comparación con el ambiente limitante (Cuadros 16 y 17). Es de hacer notar que la temperatura nocturna y la luz suplementaria y sus interacciones tuvieron mayor efecto en la magnitud de las características vegetativas como altura de planta y área foliar (Cuadro 16), que

en las de biomasa (Cuadro 17). En cambio, la eficiencia del área foliar resultó más afectada por esas interacciones que por los efectos individuales de los tratamientos (Cuadro 16). También destaca que la biomasa asignada a frutos, fue afectada generalmente por el ambiente de crecimiento de la plántula y por la temperatura nocturna, pero no por la luz suplementaria, ni los efectos de las interacciones fueron significantes (Cuadro 17). Estos resultados permiten concluir que al crecer plántulas de jitomate durante 31 días en un ambiente amplio para la raíz y parte aérea, combinado con una temperatura nocturna de 16 °C y aplicando luz suplementaria, estas logran más vigor y aceleran su desarrollo reproductivo, mejoran la eficiencia del área foliar y la distribución de fotoasimilados, y lo más importante es que estas mejoras persisten después del trasplante y se expresan en mayor rendimiento.

Cuadro 16. Cuadrados medios y nivel de significancia en el análisis de varianza para las variables vegetativas estudiadas en plantas de jitomate variedad Charleston en Chapingo, Estado de México. 2005.

Fuente de Variación	Cuadrados medios					
	Fitómeros previos a 1 ^a inflorescencia	Diámetro de tallo	Altura de planta	Área foliar	Índice de Área foliar	Eficiencia de área foliar
Ambiente de crecimiento (Ac)	0.91**	6.04**	22.5*	33692311**	5.4**	0.00005
Temperatura nocturna (Tn)	0.01	0.34	34.3*	2205039	0.3	0.000004
Luz suplementaria (Ls)	0.02	0.16	40.6**	7240174**	1.1**	0.00009
Ac x Tn	0.60*	0.001	27.5*	33686681**	5.4**	0.00013**
Tn x Ls	0.09	0.47	7.1	5938066*	0.9*	0.00006*
Ac x Ls	0.12	1.33	24.5*	1877329	0.2	0.000006
Ac x Tn x Ls	0.24	0.82	1.2	9222852**	1.4**	0.0001**
Coef. de variación (%)	4.06	6.62	5.8	13.8	13.8	17.43

**Altamente significativo ($\alpha=0.01$)

*Significativo ($\alpha=0.05$)

Cuadro 17. Cuadrados medios y nivel de significancia en el análisis de varianza para las variables de biomasa estudiadas en plantas de jitomate variedad Charleston en Chapingo, Estado de México. 2005.

Fuente de Variación	Cuadrados medios en el peso seco de					
	Raíz	Tallo	Pedúnculo	Hoja	Fruto	Total
Ambiente de crecimiento (Ac)	36.5*	213.6**	9.9**	8507.2**	56143**	124602**
Temperatura nocturna (Tn)	1.7	27.0	1.8	29.2	4322*	4344
Luz suplementaria (Ls)	4.5	11.7	0.3	206.5	484	1048
Ac x Tn	3.5	0.6	2.9	12.2	1239	1722
Tn x Ls	19.8	6.1	0.1	110.0	1870	795
Ac x Ls	3.3	14.7	0.4	364.3	189	1144
Ac x Tn x Ls	22.8	128.2**	5.2*	1450.9	2326	10702**
Coef. de variación (%)	23.7	14.0	27.0	14.7	14.9	11.61

**Altamente significativo ($\alpha=0.01$)

*Significativo ($\alpha=0.05$)

8.6. Conclusiones

De acuerdo a las condiciones bajo las que se desarrolló el cultivo posterior al trasplante y los resultados obtenidos, se llegó a las siguientes conclusiones:

1. El mayor número de flores, frutos por parcela, peso medio de frutos, precocidad, plantas más vigorosas y mayor rendimiento de fruto e índice de cosecha, se logró con plántulas de jitomate que se desarrollaron por 31 días en contenedores de 850 cm³ a una densidad 90 plantas/m².
2. La temperatura nocturna de 16 °C aplicada por 10 días a las plántulas de jitomate, superó a la de 10 °C en cuanto a adelantar la cosecha de fruto y en rendimiento total.

3. Al crecer plántulas de jitomate durante 31 días en un ambiente amplio para la raíz y parte aérea, combinado con una temperatura nocturna de 16 °C y aplicando luz suplementaria, se producen efectos en crecimiento, desarrollo y vigor de la planta que persisten después del trasplante y estos efectos se expresan en mayor rendimiento.

9. DISCUSIÓN GENERAL

Cancino *et al.* (1990), Sánchez y Corona (1994), Sánchez *et al.* (1991), Ponce *et al.* (2000) y Sánchez *et al.* (1999) reportan el desarrollo y validación de una nueva tecnología o "paquete tecnológico" de producción de jitomate en hidroponía, capaz de producir altos rendimientos y calidad, con menos problemas fitosanitarios que los sistemas convencionales de producción en invernadero, que resulta factible desde el punto de vista técnico y redituable económicamente, a partir de pequeñas superficies, además el desarrollo y validación es respaldado por varias experiencias de cultivo a escala comercial en colaboración con productores.

Esta tecnología consiste en despuntar las plantas (eliminar la yema terminal) para dejarles sólo una, dos o tres inflorescencias (racimos florales), además se eliminan por medio de podas, todos los brotes laterales que emite la planta antes, durante y después del despunte; este tipo de plantas se establece en densidades de población de hasta 25 plantas/m², en vez de 2 a 3 plantas/m² y conducidas a más de 10 racimos que se utilizan en los sistemas convencionales. De esta manera, se tiene un menor rendimiento por planta, pero se incrementa el rendimiento por unidad de superficie con la ventaja adicional de acortar el ciclo de trasplante a cosecha de más de siete meses a tres o menos, obteniéndose más ciclos de cultivo por año y por lo tanto, una mayor productividad anual (McAvoy *et al.*,1989; Cancino *et al.*,1990; Sánchez y Corona, 1994).

Como esta tecnología está basada en la cosecha de uno, dos o tres racimos por planta, el rendimiento final depende de los factores involucrados en la formación de un mayor número de flores por racimo, porcentaje de frutos cuajados por racimo, y tamaño y peso de los frutos. Al respecto, mediante modificación del ambiente de crecimiento en la etapa de producción de plántula, es posible inducir la formación floral y desarrollo de un mayor número de flores en las primeras inflorescencias, lo que eventualmente podría conducir a un mayor rendimiento de los racimos formados.

Así, varios investigadores (Calvert, 1964; Dinar y Rudich, 1985; Picken *et al.*, 1986; Abdul *et al.*, 1978; Phatak *et al.*, 1966, Aung, 1978; Hurt y Cooper, 1967 y Morgan 1986) han planteado que si se aporta luz suplementaria a las plántulas, se provee mayor concentración de CO₂ en la atmósfera, se disminuyen las temperaturas del aire y de la raíz, se aplican retardadores de crecimiento u otros reguladores; se puede alterar el balance de carbohidratos disponibles en las plántulas a favor de la inflorescencia que en ese momento está iniciando su diferenciación, logrando que se formen más flores y eventualmente más frutos en dicha inflorescencia.

En el presente trabajo, durante un periodo de 30 días desde siembra hasta trasplante, mediante el manejo de una baja densidad de plántulas en el semillero (90 plántulas/m²), se generó un ambiente de crecimiento propicio para una mayor intercepción y mejor distribución de la radiación en el dosel, en comparación con la que se tiene en plántulas manejadas en charolas de 200 cavidades de 22 cm³ cada una a una densidad de de 1111 plántulas/m².

La siembra de las plántulas a baja densidad se hizo en macetas de 850 cm³ de capacidad, buscando evitar restricciones en el desarrollo de la plántula, generando así un ambiente favorable para su desarrollo en relación a las sembradas en charolas con cavidades de 22 cm³ de capacidad.

La hipótesis que se planteó es que este ambiente favorable de baja densidad y amplio volumen de sustrato para la raíz, propicia mayor velocidad de crecimiento y mayor vigor de las plántulas respecto a sus similares creciendo en alta densidad y volumen restringido de sustrato, lo que se refleja posteriormente en un mayor número de flores en la primera inflorescencia, en mayores tasas de desarrollo de la planta adulta mayor rendimiento de fruto.

Adicionalmente al volumen de sustrato se evaluaron dos tratamientos de temperatura nocturna (10 °C y 16 °C) aplicados durante el periodo de la iniciación de la primera inflorescencia entre los 21 y los 31 dds. La aplicación de 16 °C de temperatura nocturna es considerada como muy apropiada para el desarrollo de las plántulas (Atherton y Harris, 1986; González 1991; Nuez, 2001); sin embargo, otros autores como Calvert (1964) y Resh (1992) indican haber obtenido inflorescencias con más flores aplicando temperaturas nocturnas cercanas a 10 °C, por lo que también se probó esta tempera en el presente estudio.

Además se evaluó el efecto de aplicar 0, 4 y 8 horas de luz suplementaria durante el periodo de iniciación de la primera inflorescencia (21 a 31 días), con el propósito de generar tasa de fotosíntesis que al menos compensaran la respiración nocturna, y

destinar más carbohidratos para el desarrollo de la inflorescencia que se estaba iniciando en ese periodo.

En una primera etapa de estudio se evaluaron 37 genotipos de jitomate con el propósito de seleccionar los que tuvieran las características apropiadas para ser manejados bajo el sistema de despuntes tempranos y altas densidades de población propuesto por Sánchez y Corona (1994), Ponce *et al.* (2000), Sánchez *et al.* (1998). Como en los caracteres evaluados destacaron como sobresalientes un gran número de variedades, se decidió seleccionar a la variedad Charleston para continuar los trabajos de investigación subsecuentes.

La siguiente fase consistió en definir el momento en que comienza la diferenciación de la primera inflorescencia, para lo cual se realizó un estudio morfológico que constó de observación y fotografiado de meristemas de jitomate a distintas edades con ayuda de microscopios estereoscópico y electrónico de barrido, complementado con una investigación documental que ayudó a ilustrar y describir la totalidad del proceso.

La iniciación de la primera inflorescencia ocurrió a los 20 dds, edad que se tomó como referencia para aplicar los tratamientos de temperatura nocturna y luz suplementaria en la siguiente fase del trabajo.

Esta siguiente fase se dividió en dos partes. En la primera se evaluó el efecto de los ambientes generados por dos volúmenes de contenedor, dos niveles de temperatura

nocturna y tres de luz suplementaria, aplicados al inicio de la diferenciación de la primera inflorescencia, sobre el crecimiento, desarrollo, vigor y acumulación de biomasa hasta el momento del trasplante, así como el número de primordios florales formados en la primera y segunda inflorescencias. En la segunda parte se determinó el efecto de los mismos tratamientos posterior al trasplante, sobre el comportamiento en floración, crecimiento, desarrollo y vigor de las plantas, precocidad y el rendimiento final.

Cuando las plántulas crecieron en un ambiente no limitante, tanto radical como aéreo, se desarrollaron con mayor vigor como lo indican las variables relacionadas con los caracteres morfológicos (Cuadro 6) y emitieron un mayor número de flores en la primera y segunda inflorescencia que en el ambiente limitante (Cuadro 12). Este comportamiento fue más notorio cuando el ambiente no limitante se combinó con una temperatura nocturna de 16 °C aplicada de los 21 a los 31 dds (Cuadro 14). También con 16 °C de temperatura nocturna y la aplicación de 8 horas diarias de luz suplementaria, en ese mismo periodo, influyó sobre varios caracteres morfológicos y sobre el número de flores en las dos primeras inflorescencias (Cuadro 15).

Los resultados anteriores se pueden explicar, en primer lugar, porque las plántulas que crecieron en el contenedor grande y en baja densidad de población, interceptaron una mayor cantidad de radiación y una mejor distribución de esta en el dosel, factores que como señalan Monteith (1981) y Gardner, *et al.* (1985), provocan mayores tasas de fotosíntesis y de producción de asimilados. Además, con un mayor espacio por planta se mejora el abastecimiento de oxígeno, nutrimentos y agua para

la plántula, que en espacios reducidos (Peterson *et al.*, 1991a) y probablemente aumenta la producción de citocininas, giberelinas y etileno (Rojas y Ramírez, 1987; Segura, 2000) lo que ocasiona mayor crecimiento de la parte aérea. Aun más, con mayor espacio disponible la radiación que penetra al dosel tiene menor proporción de rojo lejano y así se evitan síntomas de etiolación (Smith, 1981).

Estos resultados concuerdan con los de Wien (1997), quien señala que las plántulas de jitomate cultivadas en alta densidad y en contenedores pequeños (espacios limitados) reducen considerablemente sus tasas de crecimiento y desarrollo, mientras que en contenedores más grandes hay menor densidad de población y el desarrollo de la planta es mayor. Por otro lado, Peterson *et al.* (1991 b), manteniendo plántulas de jitomate durante 46 días en contenedores de 25 y 1500 cm³ de volumen, encontraron que en los contenedores con volumen reducido se incrementó la producción de etileno, lo que coincidió con la formación de raíces adventicias; también la respiración de las raíces llegó a ser hasta 10 veces menor que la de las plántulas que crecieron en contenedores de mayor volumen, de tal manera que el peso seco radical fue tres a cuatro veces mayor en estas últimas, en comparación con las que crecieron en contenedores de menor volumen.

En el caso del presente estudio los efectos del ambiente no limitante fueron más marcados en los tratamientos donde se aplicó una temperatura nocturna de 16 °C de los 20 a los 30 dds, comparada con otra de 10 °C. Probablemente esto se debió a una menor actividad enzimática en la temperatura baja, lo que a su vez se tradujo en menores tasas de respiración y biosíntesis. También Hoek *et al.* (1993), en plántulas

de jitomate, encontraron que la temperatura de 12 °C en comparación con 15 y 18 °C restringió el crecimiento vegetativo debido a las bajas tasas de división celular que se presentaron a temperatura baja y no a la inhibición de fotosíntesis; este mismo autor al comparar las plantas cultivadas a temperaturas de 18 °C con las cultivadas a 12 °C a la edad de 40 días, las de 18 °C mostraron mayor precocidad, tuvieron mayor tasa relativa de crecimiento y el área foliar fue cinco veces mayor.

Al parecer, la combinación de la temperatura nocturna de 16 °C con la aplicación de luz suplementaria por un periodo de diez días, alcanzó a generar condiciones metabólicas adecuadas para la acumulación de mayor cantidad de carbohidratos disponibles y de esa manera, concordando con Charles-Edwardds *et al.*, (1986), pudieran diferenciarse mayor número de flores en la primera inflorescencia.

Aquí se encontró que al exponer las plántulas por 10 días a 8 h de luz suplementaria, a una intensidad de 175 $\mu\text{moles de fotones m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, en combinación con una temperatura nocturna de 16 °C en el periodo en el que se está iniciando la inflorescencia, se produjo un incremento estadísticamente significativo en el número de flores en el primer racimo que se reflejó en un incremento en el número total de flores por planta.

Como no hubo diferencias en las tasas fotosintéticas en esa intensidad lumínica entre 10 y 16 °C (datos no mostrados), se postula que en el periodo de aplicación de 8 h de luz suplementaria se produce el doble de fotoasimilados respecto al periodo de 4 h y esto puede tener repercusiones sobre la diferenciación del número de flores

del primer racimo; además la luz suplementaria puede reducir las pérdidas por respiración nocturna porque se acortan las noches y esto deja más fotoasimilados disponibles para el metabolismo.

Las consideraciones anteriores concuerdan con trabajos de diferentes autores donde evaluaron el comportamiento de plántulas de jitomate en relación a tratamientos de temperatura y luz suplementaria (Grimstad, 1987; Morgan, 1986; Hurd, 1973).

De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente trabajo (Cuadro12) se probó la hipótesis planteada de que los efectos causados por los diferentes ambientes utilizados en el estado de plántula, sobre todo el determinado por el tamaño grande de contenedor, se mantienen posteriormente al trasplante como lo muestran los indicadores de precocidad, el número de flores en la primera inflorescencia y totales, el número de frutos por parcela, el peso medio de fruto y el rendimiento temprano y total.

También Weston (1988), al producir plántulas en contenedores de distintos volúmenes (desde 5.6 hasta 39.5 cm³), determinando así, ambientes limitantes y no limitantes para la raíz, encontró diferencias significativas en variables como altura de planta, área foliar, materia seca en parte aérea y en contenido de nitrógeno total a favor de los contenedores de mayor volumen; diferencias que se mantuvieron a lo largo del ciclo de cultivo, obteniendo 37 % más rendimiento en las plantas provenientes del contenedor con más volumen respecto al más pequeño.

La temperatura nocturna como factor individual también causó efectos significantes (Cuadro 13), sobre las variables número total de flores, rendimiento temprano y rendimiento total; la aplicación de 16 °C durante 10 días en el estado de plántula tuvo como consecuencia que al final del ciclo, las plantas mostraran un incremento de 4 flores por parcela, 602 g de rendimiento temprano y 484 g de rendimiento total por parcela; en comparación con la temperatura de 10 °C.

De acuerdo con los resultados de este trabajo, el mayor vigor, desarrollo, número de flores y rendimiento de fruto de las plantas que crecieron hasta el trasplante en contenedores de mayor volumen y en baja densidad, se hace indispensable reevaluar, en términos agronómicos y económicos, el sistema de producción convencional de plántulas en charolas de 200 cavidades y alta densidad de población. Esta línea de investigación debe continuarse con el objetivo de desarrollar una tecnología de producción de plántulas menos restrictiva y conducente a formar más flores y frutos por planta y más alto rendimiento por unidad de superficie.

10. CONCLUSIONES FINALES

Se encontró un grupo amplio de cultivares con características adecuadas para la producción en ambientes no restrictivos; sin embargo, no se encontraron elementos suficientes para validar la hipótesis en el sentido de que hay cultivares con tendencia a emitir mayor número de flores en las primeras inflorescencias.

Se determinó que el momento y el estado fenológico en que se inicia el desarrollo de la primera inflorescencia ocurrió entre 21 y 31 días después de la siembra.

Fue posible incrementar el número de flores en la primera inflorescencia en plantas de jitomate utilizando, desde la siembra hasta el transplante, contenedores que propicien mayor espacio de crecimiento para la raíz y con una menor densidad de población, en relación al sistema convencional de ambiente radical limitado y alta densidad de población. El efecto del mayor espaciamiento radical y aéreo se mantuvo hasta el fin del ciclo de cultivo, pues se incrementó el número de flores, la precocidad, el número y peso de frutos, y el rendimiento.

Los efectos causados por el ambiente generado por el mayor espaciamiento radical y aéreo fueron mayores cuando se aplicó una temperatura nocturna de 16 °C de los 21 a los 31 días después de la siembra, respecto a 10 °C, sobre todo cuando también se aplicaron cuatro u ocho horas de luz suplementaria durante el mismo periodo.